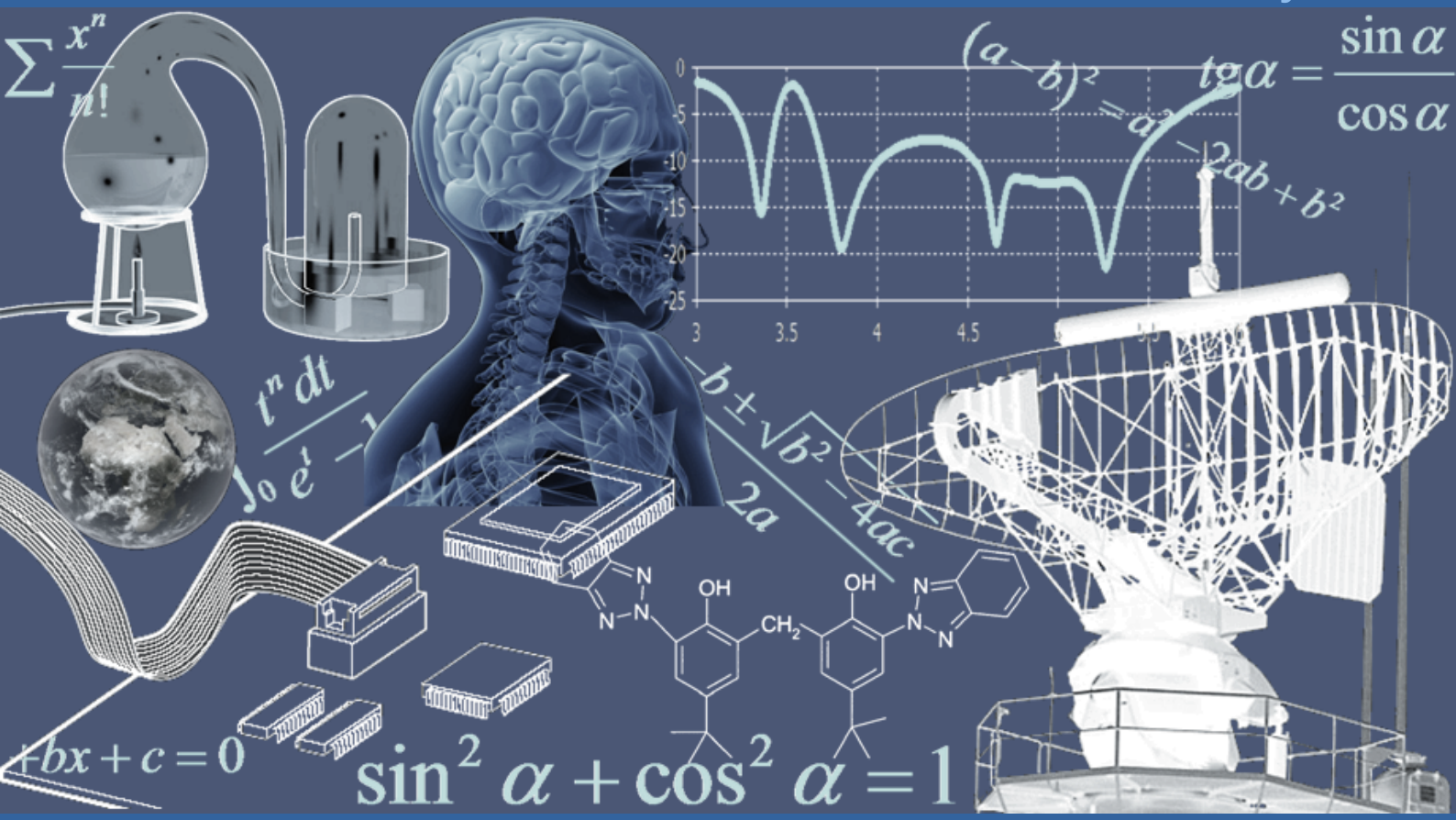
ISSN: 2028-9324
CODEN: IJIABO
Impact Factor: 6.85

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 41 N. 4 February 2024



International Peer Reviewed Monthly Journal

Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.issr-journals.org/

International Journal of Innovation and Applied Studies

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Editorial Advisory Board

Amir Samimi, Ph.D. of Science in Chemical engineering, Process Engineer & Risk Specialist of Oil and Gas Refinery Company, Iran
Mahsa Ja'fari, Department of Chemical Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran
Alin Velea, Paul Scherrer Institute, Switzerland
Kamyar Hasanzadeh, Aalto University, Finland
Ogbonnaya N. Chidibere, University of East Anglia, United Kingdom
Oumair Naseer, University of Warwick, United Kingdom
Wei Zheng, University of Texas Health Science Center at San Antonio, USA
Hu Zhao, University of Southern California, USA
Haijian Shi, Kal Krishnan Consulting Services, Inc, USA
Syed Ainul Abideen, University of Bergen, Norway
Malika Maataoui, Mohammed V University, Morocco
Fabio De Felice, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Giovanni Leonardi, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
Siham El Gouzi, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Spain
Mohamed KOSSAÏ, European Business School EBS Paris, France
Mustafa Batuhan AYHAN, Marmara University, Turkey
Andrzej Klimczuk, Warsaw School of Economics, Poland
Corinthias P. M. Sianipar, Tokyo University of Science, Japan
Irfan Jamil, Sinohydro Engineering, China
Sukumar Senthilkumar, Chonbuk National University, South Korea
Bratu (Simionescu) Mihaela, Bucharest University of Economic Studies, Romania
Mirela Maria Codescu, National Institute for R&D in Electrical Engineering ICPE-CA, Romania
Milen Zamfirov, St. Kliment Ohridski Sofia University, Bulgaria
Svetoslava Saeva, Neofit Rilski South-West University, Bulgaria
Dimitris Kavroudakis, University of the Aegean, Greece
Vaitsa Giannouli, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Nataša Pomazalová, Mendel University in Brno, Czech Republic
Hazem M. Shaheen, Damanhour University, Egypt
Shalini Jain, Manipal University Jaipur, India
Amin Jula, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt

Munir Ahmed G. Timol, Veer Narmad South Gujarat University, India
Saravanan Vasudevan, Arunai Engineering College, India

Table of Contents

Analysis of the regularity of alumina dissolution parameters: Case of the Rusal/Friguia plant (Republic of Guinea) 910-919

Keita Kandas, Kaba Oumar Barou, Bangoura Soryba, and Oularé Pierre Tamba

Le Rétinoblastome: Expérience d'un service dans un pays en développement 920-928

K. Elmkaddem, Sarra Benmiloud, Sanaa Bouramdane, S. Tanout, Mohamed Hbibi, M. Boubou, I. Benatya, and M. Hida

La base des données NoSQL pour le réseau électrique: La SNEL SA met en œuvre un nouveau modèle basé sur le neutre effectivement mis à la terre 929-945

Monkila Nkiwa Barthelemy, Muaka Ndombe Makula Justin, Jérôme Mwenze Ndala, and Teddy Lwamba Muba

Assessment of interactions between raw water from the N'Djili river, groundwater and water treated by the Water Distribution Administration in Kinshasa, Democratic Republic of Congo 946-956

Innocent MUFUNGIZI, Ruben LOOLA, Jean KABULO, Ridi DIAKONDUA, Hubert KAWAYA, Roda BONGELI, Jonathan MUSITU, Koy KASONGO, and Aymar AKILIMALI

Une méthode de détection de changements amont et aval pour le suivi des superficies agricoles irriguées de la région de la Haute-Comoé, au Burkina Faso 957-971

Farid Traoré, Sié Palé, Aïda Zaré, Bonkoungou Joachim, Jérôme Compaoré, Kibissi Paré, Rodrigue Walbeogo, and BVC Adolphe Zangré

Evaluation de la valeur écologique du domaine Mamadou Sangaré (Département de Dianra, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) 972-987

Zinsi Roseline Gouli Gnanazan, N'Guessan Olivier Yao, Sopie Elvire Vanessa AKAFFOU, Mamadou SANGARE, and Kouakou Edouard N'GUESSAN

Availability and Traditional Uses of Some Plant Species in the Tanoe-Ehy swamp forest (FMTE), Southeastern Côte d'Ivoire 988-1002

Abrou N'Gouan Emmanuel-Joël, Ouattara MEVANLY, and Pagny Franck Placide Junior

Conception de la biodiversité dans les textes juridiques congolais relatifs à la gestion des ressources naturelles: Des défis pour les Congolais 1003-1015

Corneille Ntamwenge

Influencia del tamaño de semilla en la productividad y el valor nutricional del maíz para ensilado 1016-1031

Claudia Pérez Mendoza, Ma. del Rosario Tovar Gómez, Gabino Garcia de los Santos, and María Magdalena Crosby Galván

Modalités de prescription ambulatoire des médicaments psychotropes au centre hospitalier psychiatrique national de Thiaroye à Dakar (Sénégal) 1032-1043

DIAGNE Ibra, DIEYE Maimouna, WADE Racky, PETIT Véronique, NDIAYE-NDONGO Ndèye Dialé, and SYLLA Aida

Détermination des proportions en protéines totales de la spiruline produite au Burkina Faso 1044-1050

Boubacar Savadogo, Windépagnagdé Charles Yameogo, Hermann Bièmou Lanou, Charles Parkouda, and Augustin Nawidimbasba Zeba

Le vécu anxieux de l'adolescent camerounais exposé à la violence conjugale au Cameroun 1051-1057

Tabue Defo Fabrice Rocard

The cinematic film between concept, classification and reception 1058-1062

Abdouni abdelouahad

Analyse comparative de l'attractivité et des caractéristiques des IDE en Hongrie et en Tunisie 1063-1080

Leila Nasri

Overview of the feeding system for pigs raised in Kalehe territory, South Kivu, Democratic Republic of Congo 1081-1087

Justin NYANGEZI TABAYE, Justin ZIGASHANE KULIMUSHI, Carus ASIFIWE BUHENDWA, Rosine NTAKWINJA LUFUNGULO, Claudien IRAGI HAMULI, and Cishesa Thierry HERI

Application of Correspondence Factor Analysis (CA) on data on the nutritional status of children under 5 years old, PRONANUT, from January to December 2022 in DR Congo 1088-1097

Don Folly FOFOLO Mulembu, Rostin MABELA Makengo Matendo, Fidèle MUAKU Mvunzi, Grace NKWESE Mazoni, and Camile LIKOTELO BINENE

Role of Computational Biology in Oral Science 1098-1108

Deepak T.A., Anulekha C.K., Suchindra Suchindra, Avinash Tejasvi, and Mariyam Nadhira

Evaluation of drug prescribing patterns and factors associated with antibiotics prescribing at first-line health facilities in the city of Kisangani, Democratic Republic of Congo 1109-1120

Samuel Bosongo, Meffy Mokwano, Alpha Ngandru, and Eugène Basandja

Note préliminaire sur l'incendie, ses causes et conséquences à Kinshasa 1121-1131

Joël-André Opey Ambur, Patrick Mukonkole Mukonkole, Lele Mambwiya Junior, Kayembe Shamba Cédrick, and Makanzu Imwangana Fils

Diversité, des nématodes phytoparasites dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers (Theobroma cacao L.) au Togo 1132-1141

Pana Kadanga, Atti Tchabi, Ablede Komlan Adigninou, Ametefe Komivi Exonam, M'Boumba Etienne Blaise, and Kondow Moubarak

ÉTUDES DES PRINCIPAUX PARAMETRES GEOCHIMIQUES DES GISEMENTS BAUXITIQUES DE SINTHIOUROU LINGUERE (HOUDA): CONCESSION SMB (SOCIETE MINIERE DE BOKE) PREFECTURE DE TELIMELE - REGION ADMINISTRATIVE DE KINDIA - GUINEE 1142-1157

Bangoura Soryba, Mamadou Oury Diallo, Abdoulaye Diallo, and Youssouf Camara

Le New Public Management: Un impératif pour les organisations publiques au Tchad ? 1158-1167

Moussa Kabir Saleh, Senoussi Seid Abakar, Djimnadjingar Ratangar, and Kouladoum Jean-Claude

Analysis of the current intensity in each rotor bar of a squirrel cage induction motor: Case of a broken bar 1168-1174

Alexandre N'GUESSAN, Serge Mouroufié ADOU, and Abé Simon YAPI

Etude du rôle du sel hydrosoluble fonctionnel « Bicarbon-Plus » à base de Bicarbonate de Sodium dans l'alimentation chez le diabétique 1175-1191

Adama Kamagate, Delorme Arsène Vivien Kouassi, Brou Ted Arnaud Boni, and Oussou N'Guessan Jean-Baptiste

Caractérisation expérimentale des propriétés physiques, mécaniques et thermiques du palmier rônier (Borassus aethiopum mart) en fonction de la teneur en eau et de la température 1192-1208

Memtine Ndong Augustin, Danebe Kada Alain, Djoda Pagore Frederick, and Nsouandele Jean Luc

Influence de la parole des parents dans l'équilibre psychique des enfants de famille monoparentale dans la ville de Cotonou 1209-1220

Magloire Fortuné Landry Aitchedji, Sossa Irénée Tchaou, and Jean Tata Tossou

Dynamic (Re) allocation For Multicast Connexion in Elastic Optical Networks 1221-1232

Adepo Joel Christian, N'Takpe N'Guessan Christian Placide, Diédié Gokou Hervé Fabrice, and Michel Babri

Réponse d'une variété locale (Tabouchi) de taro (Colocasia esculenta L. schott) à une phytohormone (6-benzylaminopurine) en culture in vitro 1233-1239

Donwière Some, Siédou Sory, Marie Claire Cece, and Renan Ernest Traore

Effets de l'incorporation de la farine de manioc dans l'alimentation des poulets de chair (Cobb 500) sur les paramètres organoleptiques de la viande, la qualité des carcasses et les poids relatifs des organes de digestion 1240-1248

Doumouya Souleymane, Traoré Beh, Kandé Brahima, Diabaté Nadiara, and Keita Abdoulaye

Effets d'aliments contenant des tourteaux de coton et coprah sur les performances de croissance des larves de tilapia Oreochromis niloticus (Linné, 1758) « souche Brésil » élevées en aquarium (Côte d'Ivoire) 1249-1256

Youssouf Diabagate, Yacouba Bamba, Kouamé Richmond N'Zue, Barthélemy Zie, and Allassane OUATTARA

CLIMATE CHANGE AND WATER RESOURCES: APPLICATION OF THE SWAT MODEL TO THE SOUTH-EAST AGNÉBY WATERSHED OF IVORY COAST 1257-1272

Koné Brahima, Ismaila Ouattara, Amidou Dao, and Bamory Kamagaté

Disponibilité et usages des résidus de cabossage en cacaoculture en Côte d'Ivoire: Une opportunité pour améliorer la fertilité des sols et la biosécurité des végétaux 1273-1285

Kouamé Paulin KOFFI, Kouacou René AKANVOU, Mahyao Germain ADOLPHE, and KOUADIO Konan-Kan Hippolyte

EVALUATION DE L'ETAT TROPHIQUE DES EAUX DU FLEUVE COMOE (COTE D'IVOIRE) A PARTIR DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE ET MICRO-ALGALE 1286-1297

Mamadou KAMAGATE, Koffi KOMOE, and Blé Alexis Tardy Kouassi

Synthesis and study of morphological structure of N-methyl, N-benzyl derivative of chitosan 1298-1304

F. Samira Safaraliyeva, B. Dilgam Taghiyev, and A. Nizami Zeynalov

Etude de l'effet biocide de l'extrait des feuilles de Caspsicum frutescens L. dans la lutte contre les arthropodes parasites: Cas de Musca domestica et des tiques Ixodida à Butembo 1305-1311

Muhindo Manzekele, Shangilia Kavatsawa, and Sikivula Robert

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 910-919
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analysis of the regularity of alumina dissolution parameters: Case of the Rusal/Friguia plant (Republic of Guinea)

Keita Kandas[1], Kaba Oumar Barou[1], Bangoura Soryba[2], and Oularé Pierre Tamba[1]

[1]Processing-Metallurgy Department, Higher Institute of Mines and Geology of Boké, Guinea

[2]Department of geological services, Higher Institute of Mines and Geology of Boké, Guinea

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Good alumina production using the Bayer process depends on the regularity of the alumina dissolution parameters, as failure to control these factors leads to a drop in alumina yield. This work has enabled us to identify and propose solutions to the anomalies linked to alumina dissolution. An analysis of the dissolution parameters (temperature, liquor concentration, residence time and saturation rate) shows that the alumina yield from January to December was irregular. This fluctuation in alumina yield remains the same for all the parameters studied. Chemical analysis was used to provide results for certain parameters. These included spectral analysis, pH meter analysis and methrom analysis of samples taken from the etching plant. These analyses showed the different behaviours of the concentration of the liquor and the content of the different bauxite constituents. An analysis of the graphs shows that the parameters vary according to the plant's instructions. All the results obtained show the need to regulate the alumina dissolution parameters. Better management of these factors will help to improve alumina yield.

KEYWORDS: Bauxite; Alumina; Dissolution-Attack; Rusal/Friguia; Bayer process; Irregularity.

1 INTRODUCTION

Demand for products made of aluminium or incorporating aluminium in their composition continues to grow year after year. Global demand for aluminium will reach around 65.6 million tonnes in 2019, compared with 65.5 million tonnes in 2018. In addition to global population growth and increased purchasing power in emerging countries, aluminium consumption is increasing as a result of the substitution effect (aluminium gradually replacing other materials) thanks to a unique combination of properties such as lightness, mechanical strength and corrosion resistance, conductivity, ductility, recyclability and many other properties [1]. With an average content of 8%, aluminium is the 3rd most abundant element in the earth's crust, according to Clarke's value. There are various ore carriers, but bauxite is the raw material most commonly used to obtain the alumina needed to produce aluminium as a metal. Bauxite is one of the most abundant natural resources and the growing demand for aluminous materials. Bauxite is an aluminium ore chemically composed of: Al2O3> 40%, SiO_2 (2-20%), Fe_2O_3 (20-35%), TiO_2 (2-44%).

At the Rusal/Friguia plant, the process for converting bauxite into alumina (Al_2O_3) is the Bayer process. This is a wet process. Soda ash is applied to the bauxite in reactors known as attack tanks, under specific pressure and temperature conditions. The process is based on two (2) principles:

- Dissolution of the alumina contained in the bauxite when attacked by concentrated sodium hydroxide solution;
- After dilution and separation of the insoluble residues, partial precipitation of the alumina in solution, made possible by lowering the temperature and diluting the sodium aluminate. This precipitation (decomposition) is very slow and must be encouraged by the addition of a hydrated alumina primer produced previously.

Corresponding Author: Keita Kandas

Under these conditions, the natural alumina hydrate is dissolved in the form of aluminate, while the metal oxides (Fe_2O_3, TiO_2, SiO_2, etc.) remain unattached. Furthermore, during the process, some of the silica under the action of soda will lead to the formation of silicate in the presence of aluminate, which gives soda silico-aluminate, which leads to a loss of alumina and soda.

In fact, the Rusal/Friguia plant is faced with a problem of regularity of the alumina production parameters, which is often explained by the poor dissolution of the alumina contained in the bauxite due to the irregularity of the parameters involved in the operation. This work has enabled us to diagnose the dissolution plant circuit, identify the faulty parameters and propose corrective measures to ensure that the plant achieves the predicted alumina production yield.

Studies related to the Bayer process have been the subject of several works, such as [2].

indicate that a low flow rate of the etching liquor causes an increase in the residence time, resulting in a decrease in the production of aluminium hydrate. The quantity of alumina dissolved (g/l) depends on the concentration of the etching liquor, so during etching, only uncombined caustic soda is capable of dissolving the alumina [3]. The authors also indicate that during etching, only uncombined caustic soda is capable of dissolving alumina. Better management of dissolution time improves etching yield [4]. The conditions for dissolving bauxite are also influenced by its mineralogical composition. Ores containing mainly gibbsite can be dissolved at relatively low temperatures (110-150°C), while diaspore and bohemite can require temperatures of up to 260-300°C [5].

The saturation rate during etching is a function of the charge ratio and the suspension residence time [6]. Etching is an important stage in the Bayer process. Its main role is to dissolve the alumina trihydrate in the caustic liquor [7]. The aim of this work is to improve the alumina dissolution rate in order to optimize its yield. To achieve this, we will compare production data from the Friguia plant with the parameters predicted by the Bayer process.

2 MATERIALS

The first material used in this study is bauxite, from which we took a bauxite sample from the Rusal/Friguia plateau3. This bauxite ore is red in color with a density ranging from 2 to 2.2 g/cm3. The main minerals that make up this bauxite are: bohemite, diaspore and gibbsite, which are described in Fig.1.



Fig. 1. A sample of bauxite from Rusal/Friguia's plateau 3

From a facies point of view, there are small hollows that can be assimilated to skeletal bauxites resulting from the alteration of dolerites. Macroscopic observation also shows:

- Grey to dark grey grains corresponding to pyroxene minerals, part of the main minerals.
- Black grains superimposed like relics of magnetite, part of the accessory minerals.

The second material was the attack reagent, i.e. the caustic soda used to dissolve the alumina contained in the bauxite. This soda liqueur is subdivided into three categories:

- Strong liquor: whose concentration varies from 150 to 200 g/l, makes up the etching liquors, evaporation liquors and those in the last etching tanks.
- Medium liqueur: with a concentration of between 75 and 150 g/l, concerns the liqueurs in the Dessilicateur vats.
- Weak liquor: with a concentration of between 25 and 75 g/l, this is the adjuvant liquor.

3 METHODS

The approach consists of carrying out mechanical and chemical tests, using certain laboratory equipment. These different methods of analysis provide an interpretation of the production samples. These analysis results give an idea of the etching yield.

3.1 MECHANICAL TESTING

CThese tests were carried out using a sieve column, which is used to determine the particle size in order to get an idea of the different particle size ranges. The second sequence was used to determine the weights of the various samples: sieve rejects and samples entering the mechanical laboratory. These different tests are shown in Fig.2 and 3.



Fig. 2. Sieve column



Fig. 3. Electronic scale column

3.2 CHEMICAL TESTS

These tests determine the concentration of the liquor, the weight ratio (Rp) and the content of the various components of the bauxite (Al2O3, Fe2O3, SiO2, etc.). They were carried out on the three types of liquor (strong, medium and weak). The analyses were carried out using the following equipment:

- pH meter: used to determine the pH of the solution, the concentration of the solution and the weight ratio.
- Methrom: used to confirm or refute the results of the pH meter for comparison purposes.
- Reactor: used to simulate the behaviour of the attack in relation to its parameters on a laboratory scale.
- Spectrometer: used for qualitative and quantitative analysis of bauxite samples with respect to the various oxides of which they are composed.

These various devices are shown in the fig. 4; 5 6; 7:



Fig. 4. The pH meter



Fig. 5. Methrom



Fig. 6. Spectrometer



Fig. 7. Reactor

4 RESULTS AND DISCUSSION

The results are based on the bauxite etching parameters, which can help to better understand the mechanism that controls the transformation of bauxite into alumina. These parameters are: temperature, concentration of the liquor after etching, residence time and alumina saturation rate. These parameters were analyzed by acquiring and processing data from the various stages of the bauxite etching process. The etching parameters for the month of January 2019 are taken as starting data Table1. At the Rusal/Friguia plant, alumina is produced on two parallel production lines.

Table 1. Basic production parameter data for Lines 1 and 2 (Rusal/Friguia, 2019)

Parameters	Lines		
	I	II	Units
Bauxite tonnages	120	118	t/h
Alumina content (Al_2O_3)	41,4	41,4	%
Moisture	7,3	7,3	%
Etching yield	89,0	89,0	%
Production factor (Kf)	95	95	%
Etching liquor flow rate	503	500	m^3/h
Etching liquor caustic	183,3	183,3	g/l
Attacking liquor input weight ratio	0,644	0,644	_

Using the data received on lines 1 and 2 of the attack workshop, the parameter calculations carried out for the month of January enabled us to summarize all the attack parameters for the other months of 2019, which are grouped together in Table 2. It is these values that will enable us to present the results and then interpret them.

Table 2. Summary of attack parameters and their values at the Rusal/Friguia plant from January to December 2019

Month	Concentration; g/l (200-220) *	Saturation rate % (38) *	Length of stay; h, mn (2 h-2 h -30) *	Performance; % (80-90) *
January	183,3	40,03	2,36	89
February	200,9	38,43	2,06	91
March	201,3	37,18	2,25	89,7
April	202,2	39,04	2,59	89,8
May	202,5	39,90	3,04	89,5
June	199,6	42,85	3,23	89,3
July	199,5	36,13	2,12	87,7
August	195	36,79	2,16	87,5
September	190,5	39,25	2,38	92,7
October	197,3	36,36	2,16	91,3
November	196,9	40,39	2,16	90,5
December	200	40	2,15	90,7
Average	197,42	38,86	2,39	89,89

(*): value used at the Rusal/Friguia plant

4.1 ANALYSIS OF YIELD AS A FUNCTION OF ETCHING TEMPERATURE

The temperature at which the soda ash attacks the bauxite is a very important parameter, as it favours the other alumina dissolution conditions. The alumina dissolution temperature depends on the mineralogical composition of the bauxite. For gibbsite, the temperature is low and ranges from 110°C to 150°C, while for diaspores and bohemite, temperatures are high and vary from 260 to 300°C [5]. At the Rusal/Friguia plant, the extraction method used is the Bayer process, where the ore is heated to 108°C in the etching tanks. The temperature trend over the production period is shown in Fig.8.

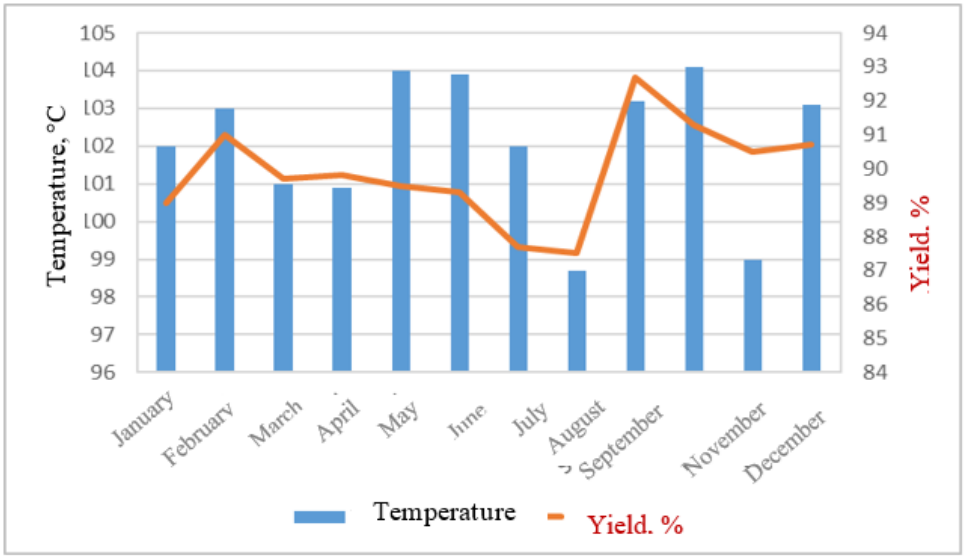


Fig. 8. Changes in alumina yield as a function of etching temperature

Analysis of the results shows that all the temperatures recorded during the period studied were both irregular and below the temperature set by the plant (108°C).

Temperatures varied between 98.7 and 104.1°C, a difference of 9.7 and 3.9°C respectively. The transformation of bauxite into alumina below the set optimum etching temperature can lead to poor dissolution on etching. Processing bauxite at 108°C contributes significantly to the separation of the various oxides that make up the bauxite ore [8]. Alumina yields as a function

of temperature range from 87.5 to 92.7% Fig.8. The lowest alumina yield was obtained in August, when the lowest attack temperature (98.7°C) was also recorded. The highest yield was obtained in September, with an attack temperature of 103.2°C.

4.2 ANALYSIS OF ALUMINA YIELD AS A FUNCTION OF RESIDENCE TIME

Residence time is an important factor in the Bayer process. This residence time is generally within a range. A residence time below this range would make it difficult to dissolve the alumina, and beyond that, the alumina already dissolved would partially precipitate. The residence time therefore makes it possible to regulate the dissolution process and assess the yield. The residence time characterizes the rate of dissolution of the soda liquor, and defines the yield of the etching [9]. The evolution of residence time over the course of 2019 (January to December) is shown in Fig. 9.

The residence time recorded at the Rusal/Friguia plant is between 2 h and 2 h 30.

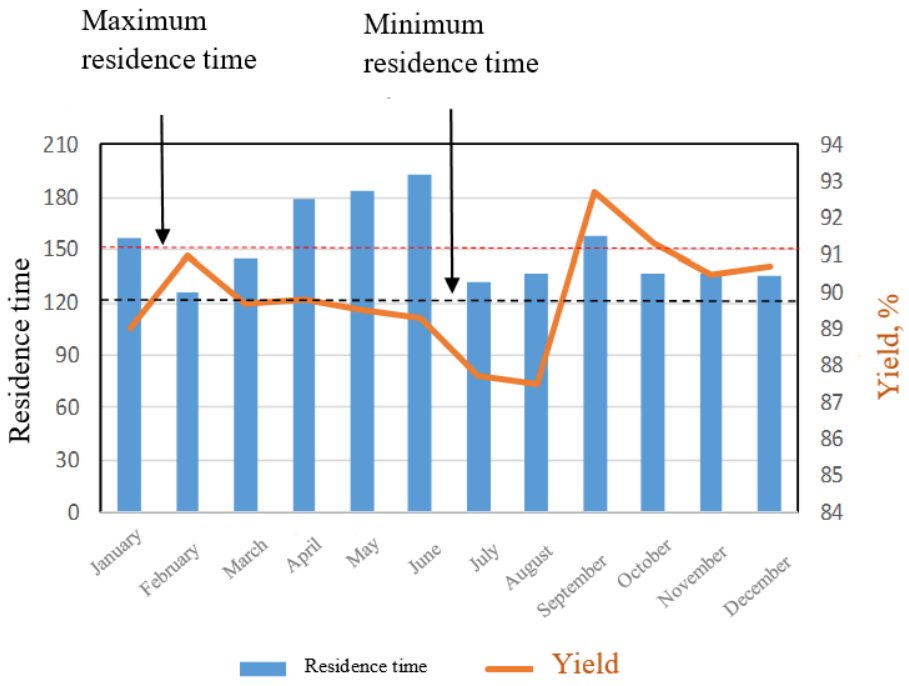


Fig. 9. Changes in alumina yield as a function of residence time

The curve shows an irregular pattern, with residence times in January, April, May, June and September exceeding the maximum recommended duration. During etching, exceeding the set residence time would lead to alumina precipitation at this stage, reducing the etching yield.

Alumina yields as a function of residence time ranged from 87.5 to 92.7% Fig.10. The lowest alumina yield was recorded in August. The highest yield was obtained in September.

The analysis of yield as a function of residence time can be explained in two ways:

- **Residence times in excess of the interval:** these residence times were observed in the months of January, April, May and June. They have yields between 89 and 92.7%, despite these high residence times, yields are appreciable according to those set by the plant (80-90%).
- **Residence times within the range:** residence times obtained in the months of February, March, July, August, October, November and December, which oscillate between 2 h 06 min and 2 h 16 min, with yields varying between 87.5 and 91%. These residence times, within the range indicated, comply with the yields defined by the plant (80-90%), which validly verifies the condition**.**

This analysis shows that changes in alumina yield do not necessarily depend on compliance with the recorded residence time.

4.3 ANALYSIS OF YIELD AS A FUNCTION OF ETCHING LIQUOR CONCENTRATION

The dissolution of aluminium hydroxides in bauxite ores is a key parameter in the aluminium industry. In general, the aluminium-bearing minerals in bauxite are in the form of gibbsite, bohemite and diaspore [10]. The rapid dissolution of alumina depends considerably on the concentration of the etching liquor. The liquor improves etching efficiency and regulates suspension residence time. The monthly values for concentration trends in 2019 are shown in Fig. 10.

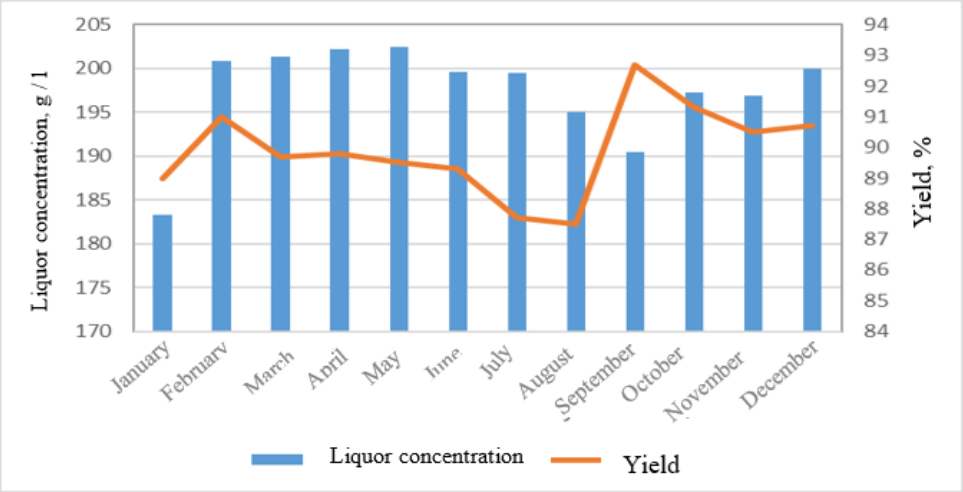


Fig. 10. Changes in alumina yield as a function of etching liquor concentration

The concentration of the etching liquor should be between 200-220 g/l. At this concentration it will dissolve the oxides contained in the bauxite in the reaction medium and increase the yield.

The curve of alumina yield as a function of liquor concentration is irregular according to the results obtained. Analysis of the data Fig. 10. shows that the liquor concentrations in January, August, September, October and November are below the minimum value of 200 g/l indicated at the plant. Concentrations varied between 183.3 and 199.6 g/l. Concentrations below 200 g/l can lead to a drop in attack yield.

Yields as a function of concentration ranged from 87.5 to 92.7% (Figure 10). The lowest yield was recorded in August with a concentration of 195 g/l. The highest yield was recorded in September with a concentration of 190.5 g/l. These results show that the variation in yield is not necessarily linked to the higher concentration of liqueur.

4.4 ANALYSIS OF YIELD AS A FUNCTION OF ALUMINA SATURATION RATE

The saturation rate is a parameter that takes into account the limit of alumina dissolution in a given quantity of liquor. This factor is used to assess the maximum extractable alumina (MAE). The alumina saturation rate set at the Rusal/Friguia plant is 38%.

The alumina saturation rates recorded during 2019 are shown in Fig. 11.

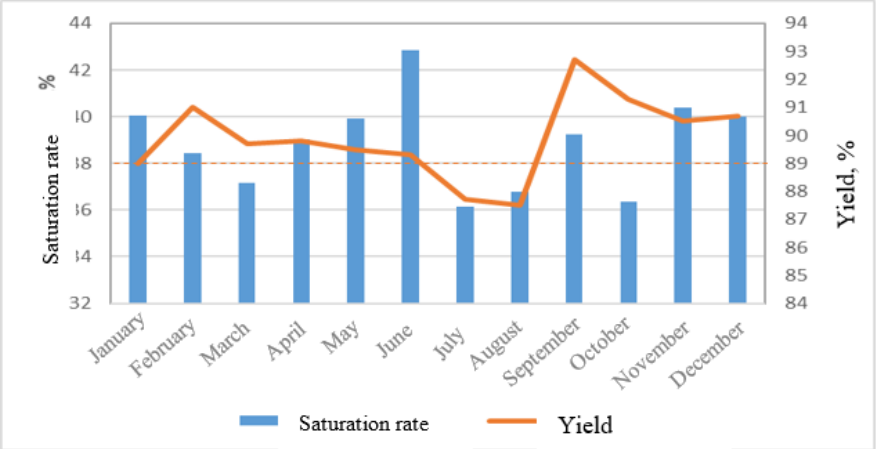


Fig. 11. Evolution of alumina yield as a function of saturation rate

Analysis of the yield as a function of the alumina saturation rate shows irregularity during the attack, which leads to poor alumina dissolution. These saturation rates can be divided into two areas in relation to the alumina saturation rate set at the Rusal/Friguia plant:

- **Alumina saturation rate below 38% (under saturation):** the saturation rates recorded are between 36.13 and 37.18%, i.e. a difference of 0.82 and 1.87%, with alumina yields varying between 87.5 and 91.3%. This under-saturation leads to a drop in the rate of alumina dissolution**.**
- **Saturation rate above 38% (oversaturation):** the saturation rates obtained vary between 38.43 and 40.39%, i.e. a difference of 0.43 and 2.39%, with alumina yields varying between 89.3 and 92.7%. Alumina supersaturation leads to overconsumption of the aluminate liquor, which would increase the quantity of new soda to be injected into the circuit and the loss of alumina in the residues.

Supersaturation creates conditions where there is a risk of alumina retrogradation [8]. Retrogradation is a phenomenon to be avoided because it results in the premature precipitation of part of the alumina on attack, which mixes with the insoluble residues and is dumped with them.

The values of certain yields in these two areas are sometimes higher than the set yield (80-90%). In short, the analysis of the various graphs shows an irregularity in the instructions given by the factory. The trends in the various parameters according to output show a significant failure on the production line. The findings reveal that compliance with the instructions given by the plant sometimes does not justify obtaining a better yield. It is clear that certain parameter values, which do not comply with the plant's requirements, sometimes give good results. These irregularities therefore need to be brought to our attention with a view to better management of the attack parameters.

5 CONCLUSION

Bauxite is the main ore for aluminium, of which Guinea has 2/3 of the world's reserves.

The aim of our research is to understand the evolution of the dissolution parameters of the alumina contained in bauxite, namely: temperature, saturation rate, residence time and soda liquor concentration.

However, this study enabled us to detect various irregularities in the attack parameters.

The results showed that the regularity of certain parameters does not necessarily define a good yield for our case study. These irregularities are not without consequences during alumina production, often leading to poor alumina dissolution.

In this work, the approach consisted of analyzing the values of the various production parameters at the bauxite etching stage as a function of their yields, then comparing them with the values set by the Rusal/Friguia plant. Analysis of the dense liquor concentrations shows that the concentrations in January, June, July, August, September, October and November were below the minimum value set at 200 g/l. No concentration exceeded the maximum value.

With regard to the dwell time set by the plant, which must be between 2 h and 2 h 30 min, analysis shows that dwell times in January, April, May, June and September 2019 exceed the maximum duration set. The values recorded are between 1h30mn-2h05mn.

The saturation rates recorded in March, July, August and October were below the minimum rate set by the plant, which is equal to 38%. These lower saturation rates were recorded in January, February, April, May, June, September, November and December 2019. This shows poor liquor productivity during these months.

Analysis of the various production data shows that the alumina etching parameters (temperature, concentration, residence time and saturation rate) are not regular. This irregularity reduces the alumina etching yield.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to take this opportunity to express our deepest gratitude to the workers at the Rusal/Friguia plant for their support during the research visit.

We would also like to thank the general management of the Institute Superior of Mines and Geology of Boké and, through them, all the teaching staff.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors approve the publication of this article in this journal.

REFERENCES

[1] Aluminium France. (2017). The properties of aluminium. https://www.aluminium.fr/proprietes/.
[2] Barry, H., & Camara, M. A. (2011). Analysis of the technical parameters influencing the attack on the alumina contained in the bauxite at the Rusal/Friguia plant (p. 39) [Graduate thesis]., Higher Institute of Mines and Geology of Boké.
[3] Camara, D., & Diawara, H. (2011). *Improving strong liquor quality to optimize alumina dissolution on attack at the Rusal/Friguia plant.* (p. 48) [Graduate thesis]., Higher Institute of Mines and Geology of Boké.
[4] Bah, M. S., & Soumah, F. Y. (2010). Analysis of factors influencing alumina dissolution à l'usine of Rusal/Friguia (p. 33) [Graduate thesis]., Higher Institute of Mines and Geology of Boké.
[5] Mahadevan H, Ramachandran TR. Recent trends in alumina and aluminium production technology. Bull Mater Sci. Déc 1996; 19 (6): 905-20.
[6] Béavogui, D., & Sidibé, N. faly. (2009). Analysis of the parameters influencing the operation of the etching workshop with a view to increasing alumina yield at the Rusal/Friguia plant (p. 45) [Graduate thesis]., Higher Institute of Mines and Geology of Boké.
[7] Bouchard, M.-L. (2006). Study of the clarity of a suspension of red sludge and Bayer liqueur using a Couette apparatus (p. 249) [Master's thesis in engineering]. University of Quebec.
[8] Occello, Y. (2019). Bauxite treatment process (World Intellectual Property Organization II III International Bureau Patent WO 2019/086792 Al).
[9] Kourouma, S. (2009). [Graduate thesis]., Higher Institute of Mines and Geology of Boké. (p. 44) [Graduate thesis]., Higher Institute of Mines and Geology of Boké.
[10] Pereira JAM, Schwaab M, Dell'Oro E, Pinto JC, Monteiro JLF, Henriques CA. The kinetics of gibbsite dissolution in NaOH. Hydrometallurgy. 1 mars 2009; 96 (1): 6-13.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 920-928
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Le Rétinoblastome: Expérience d'un service dans un pays en développement

[Retinoblastoma: A department's experience in a developing country]

K. Elmkaddem[1-2], S. Benmiloud[1-2], S. Bouramdane[1-2], S. Tanout[2-3], M. Hbibi[1-2], M. Boubou[2-4], I. Benatya[2-3], and M. Hida[2-5]

[1]Service d'Hémato-Oncologie Pédiatrique, CHU Hassan II, Fès, Morocco

[2]Faculté de Médecine, de Pharmacie et de Médecine Dentaire, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Morocco

[3]Service d'ophtalmologie, CHU Hassan II, Fès, Morocco

Service de radiologie, Hôpital Mère-Enfant, CHU Hassan II, Fès, Morocco

[5]Service de pédiatrie, Hôpital Mère-Enfant, CHU Hassan II, Fès, Morocco

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Retinoblastoma is the most common malignant intraocular tumor in children under 5 years old. Survival rates, ocular and visual preservation are major challenges in this disease. This study aims to determine the epidemio-clinical, therapeutic and prognostic profile of patients with retinoblastoma who have been treated in the pediatric hemato-oncology department of the university Hospital Hassan II of Fez. It is a retrospective and descriptive study of all children followed for retinoblastoma at the pediatric hemato-oncology department, over a period of 11 years and 10 months from January 1st, 2012 to October 31, 2023. During this period, we collected 65 cases. The mean age at diagnosis is 25 months and the ratio is 0.9. The mean time to diagnosis is 5 months. Symptoms are dominated by leukocoria (84.2% of cases), followed by exophthalmia (15.8% of cases) and sarbismus (13,2% of cases). The retinoblastoma is unilateral in 70.7% of cases and bilateral in 29,3% of cases. Enucleation was indicated in 97% of cases. The majority of patients were treated by the combination of chemotherapy and surgery (69.2% of cases). Surgery only was indicated in 27,7% of cases and conservative treatment in 26,1% of cases. Radiotherapy was indicated in 9,5% of cases. The overall survival rate at the end of treatment is 75.4% and the five-year survival rate is 60%. The prognosis of retinoblastoma is generally good. In our context, most cases are still diagnosed at advanced stages of the disease, which considerably reduce the overall survival rate and the preservation of the eye and the vision.

KEYWORDS: retinoblastoma, cancer, child, chemotherapy, surgery.

RESUME: Le rétinoblastome est la tumeur maligne oculaire la plus fréquente chez les enfants âgés de moins de 5 ans. Le taux de survie, ainsi que la préservation oculaire et visuelle sont les enjeux majeurs de la maladie. Cette étude vise à déterminer le profil épidémio-clinique, thérapeutique et pronostique des patients atteints de rétinoblastome qui ont été traités dans le service d'hémato-oncologie pédiatrique (SHOP) du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Hassan II de Fès. Il s'agit d'une étude rétrospective et descriptive de tous les enfants suivis au SHOP pour rétinoblastome sur une période de 11 ans et 10 mois allant du 1er janvier 2012 au 31 Octobre 2023. Durant cette période, nous avons colligé 65 cas dont l'âge moyen au diagnostic est de 25 mois avec un sex-ratio de 0,9. Le délai moyen du diagnostic est de 5 mois. La symptomatologie est dominée par la leucocorie (84,2% des cas) suivie par l'exophtalmie (15,8% des cas) puis le strabisme (13,2 % des cas). Il s'agit d'un rétinoblastome unilatéral dans 70,7% des cas et bilatéral dans 29,3% des cas. L'énucléation a été indiquée chez 97% des patients. L'association chimiothérapie-chirurgie est le traitement de choix chez la majorité des patients (69,2% des cas). La chirurgie seule a été indiquée dans 27,7% des cas et le traitement conservateur dans 26,1% des cas. La radiothérapie a été indiquée dans 9,5% des

cas. Le taux de survie global à la fin du traitement est de 75,4% des cas avec un taux de survie à 5 ans de 60%. Le rétinoblastome est un cancer dont le pronostic vital est généralement bon. Dans notre contexte, la plupart des cas sont diagnostiqués à des stades avancés de la maladie ce qui réduit considérablement les taux de survie globale, de préservation de l'œil et de la vision.

MOTS-CLEFS: rétinoblastome, cancer, enfant, chimiothérapie, chirurgie.

1 INTRODUCTION

Le rétinoblastome (Rb) est une tumeur maligne rare de la rétine. Elle représente 4% de l'ensemble des cancers pédiatriques [1]. C'est le cancer intraoculaire primaire le plus fréquent chez les enfants et la plupart des cas sont diagnostiqués avant l'âge de cinq ans [2,3]. Dans le monde, on estime qu'il y a 5000 à 8000 nouveaux cas chaque année [1]. Le symptôme initial le plus fréquent est la leucocorie [4]. Le diagnostic précoce est fondamental pour le succès thérapeutique. Si le Rb est le cancer pédiatrique qui a le taux de survie le plus élevé dans les pays développés, il reste un sujet de préoccupation dans les pays en développement vu le retard du diagnostic et le taux de mortalité encore élevé [1,9]. A travers cette étude, nous mettons le point sur l'aspect épidémio-clinique, thérapeutique et pronostique des Rb traités au Service d'hémato-oncologie pédiatrique (SHOP) du Centre hospitalier universitaire (CHU) Hassan II de Fès.

2 PATIENTS ET MÉTHODES

Il s'agit d'une étude rétrospective et descriptive menée sur une période de 11 ans et 10 mois allant du 1er janvier 2012 au 31 octobre 2023 de tous les patients atteints de Rb suivis au SHOP du CHU Hassan II de Fès. Nous avons inclus tous les patients âgés de moins de 15 ans traités pour Rb. Nous avons collecté les données épidémio-cliniques, thérapeutiques et évolutives de la maladie. La Classification Internationale du Rb (ICRB) a été utilisée pour déterminer le stade clinique des tumeurs (Tableau1).

Tableau 1. Classification internationale du Rétinoblastome (ICRB)

Groupe	Sous-groupe	Caractéristiques
A	Très faible risque	Tumeurs de moins de 3 mm, situées à plus de 3 mm de la fovéa et 1,5 mm de la tête du nerf optique Pas D'essaimage sous rétinien ou vitréen
B	Faible risque	Tumeurs supérieures ou égales à 3 mm Décollement séreux de moins de 5 mm autour de la tumeur Pas D'essaimage sous rétinien ou vitréen
C	Risque intermédiaire	Essaimage vitréen ou sous rétinien localisé Décollement séreux de plus de 5 mm de la base tumorale jusqu'à 1 quadrant
D	Haut risque	Essaimage vitréen massif et/ou sous rétinien diffus. Décollement de rétine supérieur à 1 quadrant
E	Très Haut risque	Globes sans potentiel visuel avec présence d'un ou de plusieurs signes suivants: -Hémorragie intra vitréenne massive -Rétinoblastome infiltrant diffus -Glaucome néo vasculaire -Tumeur touchant le cristallin -Tumeur en avant de l'hyaloïde antérieure -Phtyse du globe -Cellulite orbitaire aseptique

3 RÉSULTATS

DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES ET PRÉSENTATION CLINIQUE

Sur un total de 11 ans et 10 mois, 65 cas de Rb ont été répertoriés. Il s'agit de 31 garçons et 34 filles avec un sex-ratio de 0,9. L'âge moyen des patients au moment du diagnostic est de 25 mois avec des extrêmes allant de 3 mois à 14 ans. Vingt-sept patients sont âgés de moins de 2 ans (41,6% des cas) et 35 patients sont âgés entre 2 et 5 ans (53,8% des cas). Trois cas sont

diagnostiqués à un âge supérieur à 5 ans (4,6% des cas). Le délai moyen de consultation est de 5 mois. Un seul patient a comme antécédent une maman traitée pour Rb unilatéral pour lequel elle a été énuclée dans son enfance. Le taux de consanguinité est de 16,9% des cas. La leucocorie est le motif de consultation le plus fréquent (84,2%), suivie de l'exophtalmie (15,8% des cas), le strabisme (13,2% des cas) et la baisse de l'acuité visuelle (10,5% des cas) (Figure 1).

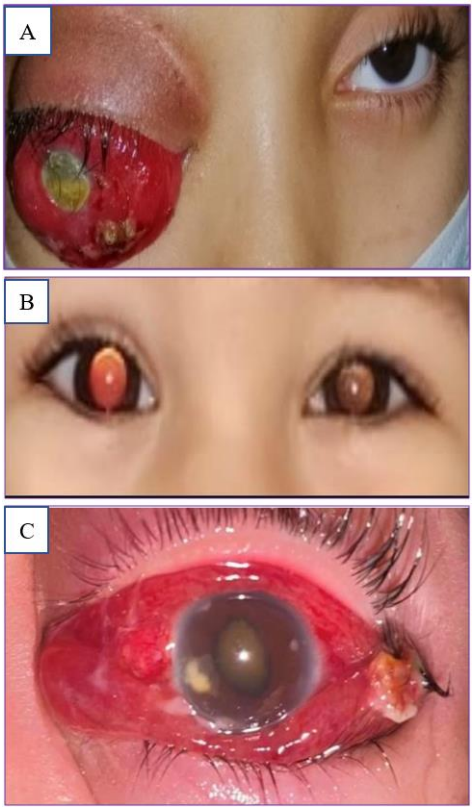


Fig. 1. Signes cliniques du Rb
A: Rb localement avancé B: leucocorie bilatérale C: Buphtalmie

DIAGNOSTIC

Tous les patients ont bénéficié d'un examen ophtalmologique détaillé avec un fond d'œil et une échographie oculaire. Ils ont permis d'objectiver des calcifications endo-oculaires chez 85% des patients, un décollement de la rétine dans 56% des cas, un essaimage vitréen dans 9,2% des cas, une buphtalmie dans 3% des cas et une rubéose irienne dans 6% des cas (Figures 2 et 3). Le Rb est unilatéral au moment du diagnostic dans 70,7% des cas (œil droit pour 25 patients et œil gauche pour 21 patients) et bilatéral dans 29,3% des cas (19 patients). Aucun cas de Rb trilatéral n'a été rapporté. L'âge moyen du diagnostic est de 2 ans et 6 mois pour les formes unilatérales et de 13 mois pour les formes bilatérales. Tous les patients ont été classés selon la classification internationale du Rb (Tableau 1). Trois pour cent des cas sont classés groupe A, 12% des cas sont classés groupe B, 10% des cas sont classés groupe C, 46% des cas sont classés groupe D et 29% des cas sont classés groupe E.

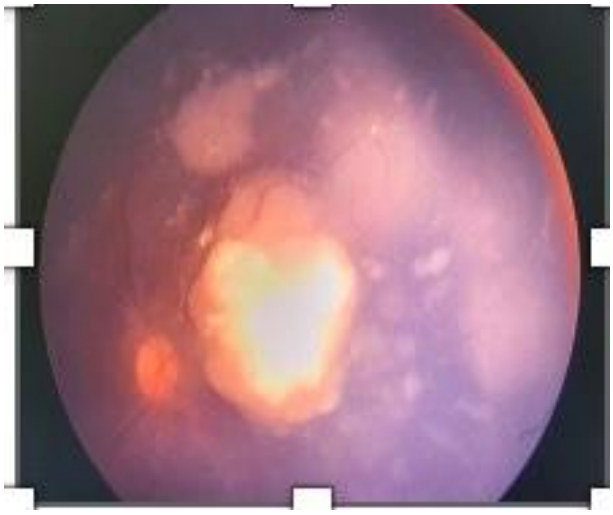


Fig. 2. Fond d'œil montrant une masse tissulaire exophytique, vascularisée, de couleur blanc nacré occupant toute l'aire maculaire sans décollement rétinien en regard



Fig. 3. Échographie oculaire montrant une formation hyperéchogène vitréo-rétinienne occupant presque la totalité de la cavité vitréenne avec cône d'ombre postérieure (en rapport avec des calcifications)

L'IRM orbito-cérébrale ou à défaut la TDM orbito-cérébrale a été réalisée chez tous les patients. Elle a permis d'objectiver dans 42 cas (64,5%) un Rb localisé au niveau de l'œil et 21 cas (32,3%) de Rb avec un envahissement extra-oculaire dont 10 atteintes du nerf optique (Figure 4). Les autres atteintes extra-oculaires sont l'envahissement musculaire chez 6 patients et l'envahissement de la graisse orbitaire chez 5 patients. Pour les formes avec extension loco-régionale, le bilan d'extension a objectivé 2 cas (3,1%) de métastases; l'une osseuse et l'autre hépatique. L'examen histologique de la pièce d'exérèse a mis en évidence 31 cas de Rb indifférenciés (50% des cas), 29 cas de Rb différenciés (46,8% des cas) et 2 cas de Rb infiltrant diffus (32,3% des cas). L'examen anatomopathologique a permis de définir des groupes de risque, guidant les indications du traitement adjuvant. Six patients soit 9,7% des cas ont été classés risque élevé, 23 patients (37% des cas) ont été classés risque moyen et 33 patients (53% des cas) ont été classés faible risque (Tableau 2). L'étude génétique n'a été réalisée chez aucun des patients vu sa non disponibilité dans notre établissement.

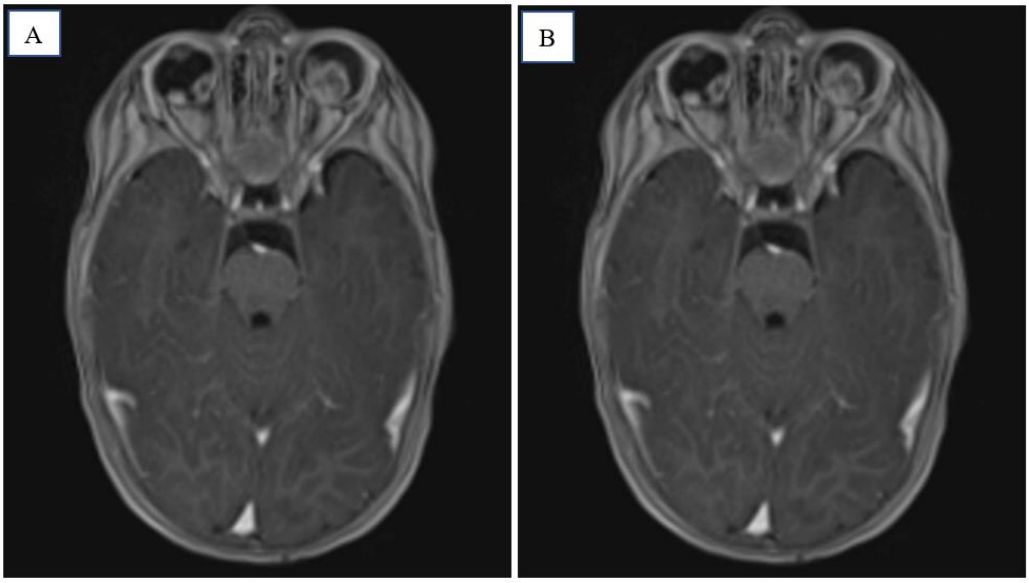


Fig. 4. A: IRM montrant un Rb bilatéral avec infiltration de la graisse intra-conique et du nerf optique à gauche avant la chimiothérapie ; B: Légère diminution du processus intra oculaire en bilatéral avec disparition de l'infiltration du nerf optique après la chimiothérapie

Tableau 2. Répartition des patients selon le groupe de risque anatomopathologique

Groupe de risque	Risque élevé		Risque moyen			FR
Envahissement	Extra-scléral	Tranche de section du NO	Choroidien massif	Rétro-laminaire du NO	Segment antérieur	
Nombre de cas	2	4	13	6	4	34
Nombre total	6		23			34

FR: Faible risque NO: Nerf optique

PRISE EN CHARGE THÉRAPEUTIQUE

Tous les patients ont été traités selon le protocole Rb 2008. L'énucléation a été indiquée chez 63 patients (97% des cas). Une chimiothérapie néoadjuvante (Carboplatine: 200 mg/m2/j J1 à J3, VP 16: 100mg/m2/j J1 à J3 et VCR: 1.5 mg/m2/j J1) suivie d'une énucléation a été indiquée chez 45 patients (69,2% des cas) et 18 patients (27,7% des cas) ont été énucléés d'emblée. Tous les enfants énucléés ont bénéficié d'une prothèse oculaire. Le traitement conservateur a été réalisé exclusivement dans les formes bilatérales, au niveau de l'œil le moins atteint chez 15 patients (groupes A et B localisés) et au niveau des deux yeux chez 2 patients. Le nombre des yeux ayant subi un traitement conservateur est de 19 yeux soit 29,2% du nombre total des yeux traités (84 yeux). Il s'agit principalement de la cryothérapie, la thermothérapie et la chimiothérapie intra artérielle (Melphalan). Parmi les patients qui ont subi une énucléation, une chimiothérapie post-opératoire à raison de 4 cycles a été administrée chez 23 patients (36,5% des cas) présentant des caractéristiques histopathologiques à risque moyen. Une chimiothérapie post-opératoire à raison de 6 cycles avec la radiothérapie ont été indiquées chez 6 patients (9,5% des cas) présentant des caractéristiques histopathologiques à risque élevé (envahissement de la tranche de section du nerf optique chez 4 patients, envahissement extra-scléral pour 2 patients). La radiothérapie n'a été réalisée que chez 4 patients, les 2 autres sont décédés au cours de la chimiothérapie post-opératoire. Une thérapie palliative a été administrée chez 4 patients (6%). Il s'agit d'une thérapie primaire pour 1 seul patient qui a des métastases osseuses et une thérapie secondaire pour 3 patients qui ont rechuté au cours du traitement. Les métastases sont principalement osseuses, méningées, médullaires et hépatiques.

ÉVOLUTION ET COMPLICATIONS

La survie globale à la fin du traitement est de 75,4%. Après 5 ans, elle est estimée à 60%. La survie globale des patients atteints d'une maladie intraoculaire est de 90% contre 60,5% pour les patients atteints d'une maladie extra oculaire. Les patients atteints de tumeurs bilatérales (84,2%) ont un taux de survie global plus élevé que les formes unilatérales (71,7%). Sur 65 patients, 4 patients sont toujours en cours de traitement (6,1% des cas). Trente-neuf patients (60% des cas) ont terminé

leur traitement et sont en rémission complète. Dix-sept patients sont décédés (26,2% des cas), principalement dans un contexte de rechute (24,6% des cas) ou d'infection (1,5% des cas). Seuls 5 patients (7,7% des cas) sont perdus de vue. Au cours du suivi, aucun cas de cancer secondaire n'a été détecté jusqu'à présent. Nous avons noté des complications essentiellement liées au traitement. Sept patients (10,7% des cas) ont présenté des épisodes de neutropénie fébrile chimio-induite avec bonne évolution sous traitement antibiotique sauf pour 1 seul cas qui est décédé dans le cadre d'un choc septique. Deux patients (soit 3 % des cas) ont présenté un syndrome hémorragique en rapport avec une thrombopénie chimio-induite. Un patient (1,5% des cas) a présenté une hypoacousie après le traitement par chimiothérapie. Un patient (1,5% des cas) a présenté une lésion érythémateuse périorbitaire suite à la chimiothérapie locale avec une bonne cicatrisation après un traitement local.

4 DISCUSSION

Le Rb est un cancer rare de la rétine survenant chez les nourrissons et les petits enfants [1,2]. Il s'agit de la tumeur intraoculaire la plus fréquente de l'enfant, son incidence est décrite autour de 1/15 000 à 20 000 naissances. Dans les pays développés, l'âge moyen au diagnostic varie de 5 à 15 mois [3-5]. Cependant, le diagnostic est le plus souvent tardif dans notre contexte (25 mois), ce qui concorde avec les études réalisées dans les pays aux ressources économiques limitées [6-8]. Cet âge avancé est lié au retard de diagnostic, puisque le délai moyen de consultation est de 5 mois dans notre série, alors qu'il est de 2 mois dans la majorité des études réalisées dans les pays économiquement développés [9-11]. Ce retard diagnostique est lié aux pratiques ancestrales, à la pauvreté et à la difficulté d'accès aux soins pour certaines régions du pays. Le Rb n'a aucune prédilection sexuelle. Ceci a été rapporté dans une étude multicentrique réalisée par Moll et al [12]. Il est unilatéral dans deux-tiers des cas, avec un âge médian au moment du diagnostic d'environ 2 ans. Il est bilatéral dans un tiers des cas et l'âge médian au moment du diagnostic est d'environ 1 an. Ce dernier a tendance à diminuer dans les pays industrialisés grâce au dépistage des enfants à risque dès la période néonatale [13,14]. Dans notre série, la forme unilatérale est aussi la plus fréquente vu qu'elle représente les deux tiers des cas avec un âge moyen au diagnostic de 2 ans et 6 mois. La forme bilatérale représente le tiers des cas et l'âge moyen au diagnostic est de 13 mois. Tous les rétinoblastomes bilatéraux sont héréditaires et 10 à 15 % des Rb unilatéraux avec plusieurs foyers tumoraux rétiniens le sont également [15]. Dans les formes héréditaires, il existe une anomalie constitutionnelle du gène RB1 (toutes les cellules de l'organisme portent l'allèle muté), situé en région 13q14, et il suffit qu'un second évènement survienne au niveau du second allèle dans une cellule rétinienne pour qu'une tumeur se développe. C'est la raison pour laquelle les patients atteints de forme héréditaire de rétinoblastome ont très souvent des tumeurs bilatérales et multiples dans chaque œil. Parmi les formes héréditaires du rétinoblastome, on définit également les formes « familiales » par l'existence d'au moins 2 patients atteints dans une même famille, le plus souvent 1 parent et 1 enfant [15]. Dans notre série, on note un seul cas de Rb familial (maman et enfant). Le signe clinique révélateur dans notre série est la leucocorie (reflet blanc pupillaire « œil de chat ») dans 84,2% des cas, c'est le même constat dans les pays économiquement développés [16]. Elle est souvent inconstante au début, visible sous certaines incidences et dans certaines luminosités. Dans la littérature, le strabisme est également fréquent dans les stades précoces. C'est un signe constant dès le début de son apparition. Cependant, dans la majorité des pays sous-développés l'exophtalmie est le principal signe révélateur à cause du retard diagnostique [9,17]. D'autres signes sont plus rarement révélateurs (Baisse de la vision, rubéose irienne, buphtalmie).

Le diagnostic du Rb repose essentiellement sur l'examen du fond d'œil sous anesthésie générale grâce à la visualisation d'une lésion tumorale qui apparait en relief, blanche et hypervascularisée. Cet examen permet de préciser les lésions intraoculaires et de définir le stade de chaque œil selon la classification internationale du Rb (ICRB) [15,18]. Cette dernière a été élaborée en 2003. Elle est basée sur l'étendue tumorale dans l'espace vitréen et sous rétinien, en tenant compte de la taille et l'emplacement de la tumeur [19]. Les yeux du groupe A présentent le plus faible risque d'échec du traitement et d'énucléation, tandis que les yeux du groupe E sont rarement récupérables et nécessitent une énucléation comme traitement primaire [20,21]. Selon la classification internationale du Rb (Tableau 1), les groupe D (46% des cas) et E (29% des cas) sont ceux qui prédominent dans notre série. Les tumeurs moins avancées (groupe A, B et C) sont observées dans les formes bilatérales avec un taux de 38,4% des cas et de 5,3% dans les formes unilatérales.

Des examens radiologiques peuvent contribuer à établir le diagnostic. L'échographie oculaire, met typiquement en évidence une masse échogène contenant de fines calcifications dans 95 % des cas. Un décollement de rétine peut être observé dans les formes exophytiques. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est indispensable pour le bilan d'extension local et la recherche de lésions intracrâniennes éventuellement associées [22]. La tomodensitométrie (TDM) ne doit plus être pratiquée si l'accès rapide à l'IRM est possible [23]. Un bilan d'extension à distance (ponction lombaire, myélogramme, biopsie ostéomédullaire, scintigraphie osseuse) n'est nécessaire que pour les tumeurs à extension extra-oculaire ou en cas de présence de critères de risque de métastases élevé [24].

Comme pour toute pathologie tumorale, la prise en charge thérapeutique des enfants atteints de Rb est multidisciplinaire. Elle dépend en grande partie de la classification ICRB (Tableau 1), de la présence ou de l'absence de facteurs cliniques extra-

oculaires, de la situation psychosociale familiale, et des ressources institutionnelles disponibles [25]. L'objectif du traitement est de guérir l'enfant, de préférence en préservant sa vision. Bien que l'énucléation a été l'approche thérapeutique traditionnelle, les nouvelles modalités thérapeutiques se concentrent sur la préservation de l'œil et de la vision. La plupart des Rb unilatéraux correspondent à des atteintes intraoculaires étendues (groupe E de l'ICRB) avec envahissement de la grande majorité de la rétine, décollement rétinien total et envahissement de la cavité vitréenne. Ces conditions ne permettent pas d'envisager un traitement conservateur et l'indication de l'énucléation reste impérative. Elle doit être réalisée sans effraction oculaire, avec une section du nerf optique suffisamment postérieure et la mise en place d'un implant intra-orbitaire [26]. Le protocole chimiothérapie néoadjuvante suivi par une énucléation a été indiqué dans 69,2% des cas de notre série. Elle a pour but de réduire le volume tumoral. Les énucléations sont encore élevées dans les formes unilatérales, car la majorité a été diagnostiquée à des stades avancés (groupe E). Pour les tumeurs des groupes C ou D localisées (27,7% des cas), l'énucléation a été réalisée d'emblée. Un examen histo-pathologique examinant le globe oculaire et le trajet du nerf optique sont réalisés. L'indication d'un traitement adjuvant dont l'objectif est de limiter les risques de rechute extra-oculaires, repose sur les résultats histo-pathologiques de la pièce d'énucléation [26]. En absence d'envahissement du nerf optique ou des enveloppes oculaires, aucun traitement adjuvant n'est indiqué. C'est le cas de la majorité des patients dans les pays industrialisés et de 54,7% des patients énuclées de notre série. Une chimiothérapie sans irradiation orbitaire est souvent recommandée en cas d'envahissement microscopique du nerf optique, d'envahissement choroïdien massif ou en cas d'envahissement du segment antérieur de l'œil [27]. C'est le cas de 35,9% des cas de notre série. Lorsque l'exérèse est microscopiquement incomplète (envahissement extra-scléral ou envahissement de la tranche de section du nerf optique), une chimiothérapie postopératoire et une irradiation orbitaire doivent être réalisées (9,3 % des patients de notre série). Ces cas sont devenus rares dans les pays industrialisés et le développement de la curiethérapie orbitaire permet aujourd'hui de diminuer les séquelles de l'irradiation [28].

L'indication des traitements conservateurs doit impérativement être posée en milieu onco-ophtalmologique spécialisé en raison de leur complexité. Une phase initiale de chimiothérapie néoadjuvante peut être utile lorsque le volume tumoral initial ne permet pas l'accessibilité directe aux différentes techniques de traitements locaux conservateurs ou en cas de décollement rétinien pour favoriser une réapplication rétinienne et une meilleure vision [29,30]. Dans certains cas rares de Rb unilatéraux, l'indication des traitement conservateurs peut être discuté en cas de petites tumeurs épargnant la macula (laissant donc espérer une préservation visuelle de l'œil atteint), ou lorsqu'il survient chez un très jeune enfant, dans le cadre d'un dépistage, qui est à risque de développer un rétinoblastome bilatéral métachrone. Les traitements conservateurs concernent aujourd'hui environ 20 % des patients atteints de rétinoblastome unilatéral [15]. Dans notre série, aucun cas de Rb unilatéral n'a bénéficié de traitement conservateur. Dans le cas des Rb bilatéraux, le traitement conservateur se discute systématiquement au moins dans un seul œil. C'est le cas de 29,2% du nombre total des yeux traités de notre série, il s'agit des yeux classés groupe A ou B de la classification IRCB. Ceci reste un faible pourcentage par rapport à celui rapporté dans les études réalisées dans les pays développés variant de 64 à 85 % [31]. Ce qui justifie d'avantage l'importance du diagnostic précoce. Les indications des différentes techniques des traitements conservateurs sont posées en fonction de l'évaluation de chaque tumeur [32,33].

A la fin du traitement, nous avons enregistré un taux de survie global de 75,4% avec un taux de survie à 5 ans de 60%. Le résultat de notre étude concorde avec la littérature où la survie à 5 ans est de 40 à 77% dans les pays en développement, tandis que dans les pays développés, elle oscille de 85-99% [9,34-36].

Une surveillance régulière ophtalmologique et pédiatrique doit se poursuivre dans les années qui suivent la fin du traitement. Ce suivi initialement mensuel est progressivement espacé devenant trimestriel jusqu'à l'adolescence puis semestriel. Il reste ensuite annuel à vie. L'objectif est de rechercher une récidive tumorale, une atteinte controlatérale ou une complication liée au traitement local. Les patients atteints de rétinoblastome héréditaire peuvent également développer des cancers secondaires pendant ou après la chimiothérapie. Les plus fréquents sont les ostéosarcomes de la face et des os longs, les sarcomes des tissus mous et les mélanomes cutanés [37]. Une consultation de génétique doit être proposée à tous les parents d'enfants atteints de Rb et à tout patient ayant une histoire personnelle ou familiale de Rb. Le jeune âge au diagnostic, le caractère multifocal de la tumeur, la présence d'un retard psychomoteur, d'un syndrome malformatif, d'antécédents familiaux de rétinoblastome chez un des parents sont des arguments en faveur d'une prédisposition génétique au rétinoblastome. Diverses études peuvent être proposées, la recherche directe d'une mutation constitutionnelle du gène RB1 ou l'étude familiale indirecte par recherche de l'allèle porteur de la mutation de RB1 en cas d'antécédent familial [18].

5 CONCLUSION

Le Rb est un des cancers les plus fréquents chez les enfants de moins de 5 ans. La mortalité et la morbidité dues à cette maladie sont expliquées par le retard diagnostique des patients. La prise en charge précoce et pluridisciplinaire permet en premier lieu de préserver la vie mais aussi autant que possible les yeux et la vision, tout en minimisant le risque de cancer

secondaire. Il est aussi nécessaire de suivre un programme de dépistage précoce, d'améliorer la sensibilisation aux signes précurseurs de la maladie et de faciliter l'accès aux soins pour certaines régions du pays.

REFERENCES

[1] Doz F, Brisse H, Stoppa-Lyonnet D, et al. Retinoblastoma. In: Pinkerton R, Plowman PN, Pieters R, editors. Paediatric Oncology. London: Arnold; 2004. p. 323–38.
[2] Abramson DH, Schefler AC. Update on retinoblastoma. Retina 2004; 24: 828–48.
[3] Dunkel IJ, Lee TC, Shi W et al. A phase II trial of carboplatin for intraocular retinoblastoma. Pediatr Blood Cancer. 2007 Oct 15; 49 (5): 643-8.
[4] M. Parrilla-Vallejo, R. Perea-Pérez, I. Relimpio-López et al. Retinoblastoma: la importancia de su diagnóstico precoz. Arch Soc Esp Oftalmol.
[5] Berman EL, Donaldson CE, Giblin M et al. Outcomes in retinoblastoma, 1974-2005: the Children's Hospital, Westmead. Clin Exp Ophthalmol. 2007 Jan-Feb; 35 (1): 5-12.
[6] Chawla B, Hasan F, Azad R et al. Clinical presentation and survival of retinoblastoma in Indian children. Br J Ophthalmol.
[7] Naseripour M, Nazari H, Bakhtiari P et al. Retinoblastoma in Iran: outcomes in terms of patient survival and globe survival. Br J Ophthalmol 2009.
[8] Chang CY, Chiou TJ, Hwang B, et al. Retinoblastoma in Taiwan: survival rate and prognostic factors. Jpn J Ophthalmol 2006.
[9] Shields CL, Shields JA, Shah P. Retinoblastoma in older children. Ophthalmology 1991.
[10] Selistre SGA, Maestri MK, Santos-Silva P. Retinoblastoma in a pediatric oncology reference center in Southern Brazil. BMC Pediatr.
[11] Butros LJ, Abramson DH, Dunkel IJ. Delayed diagnosis of retinoblastoma: analysis of degree, cause, and potential sequences. Pediatrics 2002.
[12] Moll AC, Kuik DJ, Bouter LM et al. Incidence and survival of retinoblastoma in The Netherlands: a register based study 1862-1995. Br J Ophthalmol.
[13] Orjuela M, Castaneda VP, Ridaura C, et al. Presence of human papilloma virus in tumor tissue from children with retinoblastoma: an alternative mechanism for tumor development. Clin Cancer Res 2000; 6: 4010–6.
[14] Orjuela MA, Titievsky L, Liu X, et al. Fruit and vegetable intake during pregnancy and risk for development of sporadic retinoblastoma. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2005; 14: 1433–40.
[15] F.DOZ, Rétinoblastome: aspects récents, Archives de pédatrie, volume 13, issue 10, 2006.
[16] Hall LS, Ceisler E, Abramson DH. Visual outcomes in children with bilateral retinoblastoma. J AAPOS 1999; 3: 138–42.
[17] Owoeye JF, Afolayan EA, Ademola-Popoola DS. Retinoblastoma-a clinico-pathological study in Ilorin, Nigeria. Afr J Health.
[18] Aerts I, Lumbroso-Le Rouic L, Gauthier-Villars M et al. Actualités du rétinoblastome [Retinoblastoma update]. Arch Pediatr. 2016 Jan; 23 (1): 112-6.
[19] Shields CL, Gorry T, Shields JA. Outcome of eyes with unilateral sporadic retinoblastoma based on the initial external findings by the family and the pediatrician. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 2004; 41: 143–149; quiz 72–73.
[20] Shields CL, Mashayekhi A, Au AK, et al. The international classification of retinoblastoma predicts chemoreduction success. Ophthalmology. 2006; 113: 2276–2280.
[21] Linn Murphree A. Intraocular retinoblastoma: the case for a new group classification. Ophthalmol Clin North Am. 2005; 18: 41–53, viii.
[22] De Graaf P, Goricke S, Rodjan F, et al. Guidelines for imaging retinoblastoma: imaging principles and MRI standardization. Pediatr Radiol 2011; 42: 2–14.
[23] Lumbroso-Le Rouic L, Aerts I, Levy-Gabriel C, et al. Conservative treatments of intraocular retinoblastoma. Ophthalmology 2008; 115 [p. 1405–10, 10.e1–2].
[24] Chantada G, Doz F, Antoneli CB, et al. A proposal for an international retinoblastoma staging system. Pediatr Blood Cancer 2006; 47: 801–5.
[25] Ancona-Lezama D, Dalvin LA, Shields CL. Modern treatment of retinoblastoma: A 2020 review. Indian J Ophthalmol.
[26] Aerts I, Sastre-Garau X, Savignoni A, et al. Results of a multicenter prospective study on the postoperative treatment of unilateral retinoblastoma after primary enucleation. J Clin Oncol 2013; 31: 1458–63.
[27] Naseripour M, Nazari H, Bakhtiari P et al. Retinoblastoma in Iran: outcomes in terms of patient survival and globe survival. Br J Ophthalmol 2009.
[28] Munier FL, Gaillard MC, Balmer A, et al. Intravitreal chemotherapy for vitreous disease in retinoblastoma revisited: from prohibition to conditional indications. Br J Ophthalmol 2012; 96: 1078–83.
[29] Nyawira G, Kahaki K, Kariuki-Wanyoike M. Survival among retinoblastoma patients at the Kenyatta National Hospital, Kenya. J Ophthalmol East Cent S Afr 2013.

[30] Paté Sankara, A. Djiguimde, A. Ahnoux-Zabsonre et al. Caractéristiques épidémio-cliniques du rétinoblastome au Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouedraogo du Burkina Faso: à propos de 32 cas. Pan African Medical Journal.
[31] Lee V, Hungerford JL, Bunce C et al. Globe conserving treatment of the only eye in bilateral retinoblastoma. Br J Ophthalmol. 2003 Nov; 87 (11): 1374-80.
[32] Desjardins L, Levy C, Labib A, et al. An experience of the use of radio- active plaques after failure of external beam radiation in the treatment of retinoblastoma. Ophthalmic Paediatr Genet 1993; 14: 39–42.
[33] Hernandez JC, Brady LW, Shields CL, et al. Conservative treatment of retinoblastoma. The use of plaque brachytherapy. Am J Clin Oncol 1993; 16: 397–401.
[34] Li Y, Xu CT, Pan BR. Epidemiology and Rb1 gene of retinoblastoma. Int J Ophthalmol.
[35] MacCarthy A, Birch JM, Draper GJ et al. Retinoblastoma: Treatment and survival in Great Britain 1963 to 2002. Br J Ophthalmol.
[36] Sheen V, Tucker MA, Abramson DH et al. Cancer screening practices of adult survivors of retinoblastoma at risk of second cancers. Cancer. 2008.
[37] Shields CL, Shelil A, Cater J, et al. Development of new retinoblastomas after 6 cycles of chemoreduction for retinoblastoma in 162 eyes of 106 consecutive patients. Arch Ophthalmol. 2003; 121: 1571–1576

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 929-945
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

La base des données NoSQL pour le réseau électrique: La SNEL SA met en œuvre un nouveau modèle basé sur le neutre effectivement mis à la terre

[The NoSQL database for the electricity network: SNEL SA implements a new model based on the effectively grounded neutral]

Monkila Nkiwa Barthelemy[1], Muaka Ndombe Makula Justin[2], Jérôme Mwenze Ndala[3], and Teddy Lwamba Muba[4]

[1]Chef de Travaux au Département d'Informatique à l'Institut Supérieur Pédagogique et Technique de Kinshasa (ISPT-KIN), RD Congo

[2]Professeur Associé au Département d'Informatique à l'Institut Supérieur Pédagogique et Technique de Kinshasa (ISPT-KIN), RD Congo

[3]Assistant au Département d'Electronique à l'Institut Supérieur Pédagogique et Technique de Kinshasa (ISPT-KIN), RD Congo

[2]Professeur Associé au Département d'Electricité à l'Institut Supérieur Pédagogique et Technique de Kinshasa (ISPT-KIN), RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: With a population estimated at 17.07 million inhabitants in 2021 and an electrification rate of around 45.5% [1], the electricity supply deficit of the City-Province of Kinshasa is estimated at 54.5%. Reversing this trend is one of the concerns of the Government of the Republic. It is within this framework that several rehabilitation and extension programs are underway. These projects are financed by either international donors such as PMURR, PMEDE, PEPUR, EASE MALT, or SNEL SA itself with its own funds, or through direct intervention by the Congolese government. The implementation strategy of the EASE project by SNEL SA DKO will be the subject of this analysis. Considering the volume of data it is supposed to generate, computer management based on NoSQL data is the most appropriate to the point that it is likely to make it efficient.

KEYWORDS: Topography, Cartography, Programming language, No SQL, Mongo DB, DBMS.

RESUME: Avec une population estimée à 17,07 millions d'habitants en 2021 et un taux d'électrification d'environ 45,5% [1], le déficit en desserte électrique de la Ville-Province de Kinshasa est estimé à 54,5 %. Renverser cette tendance fait partie des préoccupations du Gouvernement de la République. C'est dans ce cadre que plusieurs programmes de réhabilitation et d'extension sont en cours de réalisation. Ces projets sont financés par soit des bailleurs de fonds internationaux tels que le **PMURR,** le **PMEDE,** le **PEPUR,** l'**EASE MALT,** soit la **SNEL** SA elle-même sur fonds propres, soit sur intervention directe du gouvernement congolais. La stratégie de mise en œuvre du projet **EASE** par la SNEL SA **DKO** fera l'objet de cette analyse. En considérant le volume des données qu'elle est sensé générer, une gestion informatique à base des données NoSQL est la mieux appropriée au point qu'elle est susceptible de la rendre performante.

MOTS-CLEFS: Topographie, Cartographie, Langage de programmation, No SQL, Mongo DB, SGBD.

1 INTRODUCTION

La combinaison de l'informatique et de la technologie a permis d'innover le système de gouvernance des organisations et entreprises contemporaines. Cette modernisation a occasionné l'apparition d'une masse des données transformables en information décisionnelle. L'existence d'un tel système engrange plusieurs activités allant de la collecte des données de terrain à leur stockage, suivi de leur

traitement et diffusion tant à l'interne qu'à l'externe. Quant à leur typologie, on distingue les données quantitatives (chiffrées) et non-quantitatives (lettrées) d'origine interne et/ou externe.

Cet article est développé dans le cadre du Projet EASE MALT 2 de la Banque mondiale, initié par le Gouvernement de la République Démocratique du Congo, projet qui consiste à électrifier les zones urbano-rurales du pays, en général et celles du Quartier Mitendi de la Commune de Mont-Ngafula de la Ville-Province de Kinshasa, en particulier. Dans son opérationnalisation, ce projet utilise la « Technique du neutre effectivement mis à la terre » arpentant les lignes électriques connectées aux cabines électriques rattachés directement sur poteaux, d'une part et aux consommateurs/clients finaux, d'autre part.

Notre préoccupation est la suivante: Comment implémenter un système de gestion de base des données innovant susceptibles de faciliter l'exploitation de SNEL SA dans le cadre de la desserte d'électricité en RDC ? Qui en sont les principaux acteurs ? Pour y répondre, nous pensons que l'implémentation du système de gestion de base des données à la SNEL SA devrait suivre une double logique, celle technique et informatique. Les principaux acteurs de ce système seraient les analystes des données et administrateurs des systèmes d'information. Ces hypothèses sont assises sur deux types de variable dont l'une est « Indépendante ou causale » et l'autre est « dépendante ou subie ». Il y a également deux hypothèses dont la première se rapporte au « Prototype SGBD NoSQL MongoDB » et la seconde est constituée principalement des administrateurs des données. Deux types d'indicateurs ont appuyé cette recherche dont l'un est quantitatif ou chiffré et l'autre qualitatif ou non-chiffré. Trois méthodes ont permis d'aborder cette recherche dont la méthode structuraliste, la méthode merise, la méthode expérimentale centrée sur l'humain, le tout dans une approche interdisciplinaire. En sus, nous avons mis à contribution la technique documentaire ainsi que celle de configuration.

Cet article comprend, outre une introduction et une conclusion, deux principales parties. La première développe le cadre théorique dans une vision conceptuelle où sont abordées différentes dimensions telle que la systémique, la topographie, la base des données, la cartographie et la programmation informatique. La deuxième partie, elle, est consacrée au cadre opératoire du modèle. Il décrit, à cet effet, le processus de mise en œuvre du projet qui tourne autour des éléments purement techniques tels que des poteaux, cabines électriques, poches noires, électricité et neutre effectivement mis à la terre, éléments utilisés dans la distribution électrique avec efficacité dans un Quartier urbano-rural de la Ville-Province de Kinshasa mais aussi du management informatique dans une vision interdisciplinaire et innovante.

2 LE CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL

Le modèle proposé comprend quatre dimensions. **La première est la dimension topographique**. Elle part de la levée de terrain avec des appareils appropriés notamment une station totale et un GPS différentiel. Ces appareils, ramenés au bureau, sont connectés à l'ordinateur pour extraire les données qui vont servir à produire les cordonnées cartésiennes (X et Y) ou géographiques (longitude et latitude) suivant le besoin d'information à mettre à la disposition des décideurs, à quelque niveau de l'organisation que ce soit. **La deuxième dimension est celle de la base des données. E**lle se fonde sur le système NoSQL associé à MongoDB. Elle peut être installée de deux manières: soit en utilisant l'interface en ligne (ILC), soit l'interface graphique (GUI) ou par Compass. Leur combinaison permet de déboucher à la création d'une collection exploitable en format **JSON,** lisible sur un serveur cartographique. La **troisième dimension est celle cartographique**. Il fonctionne en mode client-serveur puis utilise le langage de programmation Python. La quatrième et **dernière dimension, celle du langage de programmation informatique**. Il met à la disposition de l'utilisateur un écran de travail appelé interface entre la base des données et le serveur cartographique. Devant la panoplie de langages de programmation informatique, il a été choisi le langage Python compte tenu de sa souplesse dans l'élaboration du code (script) et compatible avec java script.

Le modèle a besoin, dans son fonctionnement, d'un cadre théorique et conceptuel. Le tout premier aspect de ce cadre est la perception savante des phénomènes. C'est une notion en vogue destinée aux hommes de science qui ont développé une certaine compétence dans la perception des phénomènes scientifiques. A cet effet, un scientifique de renommée mondiale Claude Bernard précise: « Le savant complet est celui qui embrasse à la fois la théorie et la pratique expérimentale. Il constate un fait; à propos de ce fait, une idée naît dans son esprit; en vue de cette idée, il raisonne, institue une expérience, on imagine et on réalise les conditions matérielles. De cette expérience résultent de nouveaux phénomènes qu'il faut observer, et ainsi de suite ». Cette notion peut être appliquée mutatis mutandis dans le domaine qui nous concerne présentement.

Le concept « système » est défini de plusieurs manières. Dans ce travail, il est un ensemble d'éléments reliés les uns aux autres qui sont en interaction dynamique et réciproque et orientés vers une finalité précise. Son évolution a donné naissance à l'approche systémique. Il est le fruit de la jonction de plusieurs disciplines pourtant hier séparées les unes des autres. Ainsi, l'approche systémique a permis d'aller au-delà des limites imposées par les disciplines scientifiques qui ont pour conséquence la réduction de la complexité des phénomènes de société. Cette notion est aussi applicable dans le domaine d'électricité qui nous concerne ici. Un système comprend trois principaux aspects, à savoir: l'aspect structurel, l'aspect fonctionnel et l'aspect régulatoire. Du point de vue structurel, un système dispose d'une frontière, des éléments constitutifs, un réseau, des réservoirs pour stocker les phénomènes. Du point de vue fonctionnel,

un système comporte des flux de natures diverses, des centres de décision qui reçoivent les informations et les transforment en actions. Tout système évolue dans un environnement interne et externe. Il peut être fermé ou ouvert, modulaire ou complexe, simple ou hiérarchisé. Il peut être organisé en sur système ou en sous-systèmes.

La réflexion sur des phénomènes complexes présente plusieurs avantages résumés dans l'anecdote de l'horloger de l'écrivain Arthur Koestler selon laquelle deux horlogers qui fabriquaient le même produit emprunte des méthodes différentes. L'un procédait par composant sans assemblage et, l'autre procédait par constitution de sous-ensembles, puis par assemblage d'ensemble. C'est ce dernier qui est sorti vainqueur de la compétition.

Ainsi, cette notion de système sus décrite peut-être appliquée mutatis mutandis à n'importe quel Système de Gestion de Base des Données NoSQL MongoDB.

En informatique, une donnée est une représentation d'une information dans un programme qui se concrétise par soit dans un texte de ce programme (code source), soit en mémoire durant l'exécution. Ces données peuvent être conservées et classées sous différentes formes telles que textuelles, numériques, imagées voire même sous forme de sons. Ces données sont enregistrées dans un mémoire, organisées d'une certaine manière puis conservées par la suite. D'où, la nécessité de leur stockage et de leur sécurisation. Un système de gestion de base des données est un logiciel destiné à aider une organisation à centraliser les données, à les gérer efficacement et à en permettre l'accès au moyen de programmes d'application avec une interface entre ces programmes et les fichiers des données physiques.

Un SGBD est aussi un ensemble des données organisées de façon à avoir efficacement plusieurs applications par la centralisation des données et la réduction de la redondance. Par ailleurs, plutôt que de stocker les données dans les fichiers distincts pour chaque application, il est utile de les sauvegarder physiquement. Ainsi, le SGBD obéit à un langage formel utilisé par les programmes informatiques pour préciser le contenu et la structure de la base des données. Ce langage définit chaque élément tel qu'il apparaît dans la base des données et avant qu'il ne soit transformé dans les formats exigés par les programmes d'application. Enfin, un SGBD peut être ouvert ou fermé à son environnement. Le premier est celui auquel font accès les exploitants tandis que le second est celui qui est fermé aux utilisateurs.

Dans le domaine de l'électrification des territoires d'Etats contemporains, les zones de dessertes sont classées en en zones urbaines, zones rurales et en zones urbano-rurales. C'est de cette dernière dont il s'agira ici. Par ailleurs, dans les pays en voie de développement à l'instar de la RDC, l'électrification est hissée au sommet des priorités gouvernementales de l'Etat. Dans ce système, les réseaux de distribution électrique constituent un des maillons fort pour leur sorti du sous-développement. D'où le choix du mode de distribution est étroitement lié aux caractéristiques des zones à électrifier qui nécessite le plus souvent d'importants capitaux. A cette fin, il existe trois types de réseau de distribution à moyenne tension: le premier est le réseau avec neutre isolé, le second est celui avec neutre impédant et le troisième le réseau avec neutre effectivement mis à la terre. C'est ce dernier qui nous intéresse. Cette mise à la terre du neutre peut s'opérer de trois manières: soit avec un neutre mis à la terre au poste HT/MT avec le statut de « non distribué", soit avec un neutre mis à la terre au poste HT/MT et en plusieurs points du réseau, soit avec un neutre mis à la terre au poste HT/MT et distribué. C'est ce dernier qui a été privilégié ici.

La prise en compte de ce système d'électrification peut s'accompagner de la notion soit de SQL soit de NoSQL. En effet, le SQL est un langage spécifique utilisé pour interroger et gérer des données. Dans son fonctionnement, il permet aux utilisateurs soit d'interroger, soit d'insérer, soit de supprimer et soit de mettre à jour des enregistrements dans des bases de données relationnelles. Par contre, NoSQL signifie « Non seulement SQL ». Il s'agit bien d'un type de base qui utilise des structures de données non relationnelles telles que des documents, des bases de données de graphes et des magasins clé-valeur pour stocker et récupérer des données. Les systèmes NoSQL sont conçus pour être plus flexibles que les bases de données relationnelles traditionnelles et peuvent évoluer facilement pour s'adapter aux changements d'utilisation ou de charge. Entre les deux, c'est le NoSQL qui est préféré dans la mesure où il offre plus de flexibilité aux développeurs qui auront la possibilité de stocker et d'accéder rapidement et facilement aux données sans la surcharge d'une base de données relationnelle traditionnelle. Dans son opérationnalisation, NoSQL est compatible à MongoDB.

3 METHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNEES

Plusieurs matériels sont utilisés pour collecter les données relatives à notre recherche. Il s'agit dans un premier temps de la « Station Totale Builder 309 » dont le descriptif et le fonctionnement est décrit dans les lignes qui suivent.

a. Descriptif de "Station Totale Builder 309"



b. Fonctionnement de « Station totale BUILDER 309 »

Le principe de fonctionnement d'une station totale est assez complexe, mais en général, il s'agit d'un instrument de mesure topographique utilisé pour mesurer des distances, des angles et des élévations sur le terrain. Une station totale est équipée d'un théodolite, qui permet de mesurer les angles horizontaux et verticaux avec précision, ainsi que d'un distancemètre électronique qui mesure les distances avec une grande précision. Ces mesures sont ensuite traitées par un ordinateur intégré à la station totale.

Les résultats obtenus avec une station totale dépendent des mesures effectuées sur le terrain. En utilisant les angles et les distances mesurés, la station totale peut calculer les coordonnées (x, y, z) des points mesurés, ainsi que les distances et les angles entre ces points.

Fig. 1. Station totale BUILDER 309

Les résultats obtenus avec une station totale sont généralement très précis, avec des marges d'erreur de l'ordre du centimètre. Ces mesures précises permettent d'obtenir des cartes topographiques précises, de créer des modèles en 3D du terrain, de réaliser des levés d'arpentage, ou encore de surveiller des déformations et des mouvements de terrain. Quant à la Station totale BUILDER 309 (Figure 1), il est un instrument de mesure utilisé dans le domaine de la topographie et de la construction. Son principe de fonctionnement repose sur l'utilisation de différents capteurs et technologies qui permettent d'obtenir des mesures précises et rapides. Elle est équipée d'un système de mesure électronique (EDM) qui utilise des faisceaux laser pour mesurer les distances ainsi qu'un système de stabilisation qui permet de compenser les vibrations et les mouvements du terrain assurant des mesures stables et précises. Elle est également dotée d'un système de visée intégré qui permet de cibler rapidement et facilement les points à mesurer. Ce système de visée peut être utilisé en mode manuel ou automatique, offrant ainsi une grande flexibilité d'utilisation.

Grâce à ces différentes technologies et fonctionnalités, la Station totale BUILDER 309 permet d'obtenir des résultats précis et fiables. Elle permet de mesurer les distances, les angles et les inclinaisons avec une grande précision, ce qui en fait un outil indispensable lors de travaux de construction, de terrassement ou de topographie. Elle peut également être utilisée pour réaliser des relevés topographiques, des levés de terrain ou encore pour déterminer les coordonnées géographiques d'un point précis.

En résumé, la Station totale BUILDER 309 est un instrument polyvalent et performant qui offre des mesures précises et rapides. Son utilisation facilite grandement les travaux de construction et de topographie en permettant d'obtenir des résultats fiables et de qualité.

L'apport du matériel « GPS Mobile Mapper 50 » dans la collecte des données de terrain est aussi déterminant. Après sa présentation, sera suivie la description de son fonctionnement.

a. Présentation de « GPS Mobile Mapper 50 »



b. Fonctionnement du matériel

Le principe de fonctionnement d'un GPS mobile repose sur la triangulation des signaux émis par les satellites en orbite autour de la Terre. Lorsque le GPS est activé sur un appareil mobile, celui-ci commence par recevoir des signaux émis par au moins quatre satellites. En utilisant la différence de temps entre l'émission et la réception des signaux, l'appareil peut calculer la distance entre lui et les satellites. Une fois que l'appareil a déterminé sa distance par rapport à plusieurs satellites, il peut placer votre position exacte en effectuant une triangulation. Cette méthode consiste à intersecter les cercles de distance à partir de chaque satellite pour obtenir une seule zone où vous vous trouvez. En utilisant des calculs mathématiques complexes, l'appareil peut alors afficher votre position sur une carte ou vous donner des indications pour vous guider.

Fig. 2. GPS Mobile Mapper 50

Les résultats obtenus avec un GPS mobile sont généralement très précis, avec une précision de l'ordre de quelques mètres. Cependant, la précision peut être affectée par divers facteurs, tels que les obstacles physiques comme les bâtiments, les arbres ou les montagnes, ainsi que les conditions météorologiques et les interférences électromagnétiques. Malgré ces obstacles potentiels, les GPS mobiles sont largement utilisés dans de nombreux domaines, notamment la navigation automobile, les applications de géolocalisation, le suivi des activités sportives, la cartographie et bien d'autres encore. Grâce à leur précision et à leur utilité pratique, les GPS mobiles sont devenus des outils indispensables pour de nombreux utilisateurs.

Le principe de fonctionnement d'un GPS Mobile Mapper 50 est basé sur la technologie GPS (Global Positioning System). Le GPS utilise une constellation de satellites en orbite autour de la Terre pour déterminer la position exacte d'un récepteur GPS. Le GPS Mobile Mapper 50 est un récepteur GPS portable utilisé principalement dans les domaines de la cartographie, de la topographie et de la collecte de données. Il est conçu pour être facilement transportable sur le terrain et peut être utilisé pour une variété d'applications telles que le relevé de terrains, la création de cartes, la collecte de données sur les infrastructures, etc.

Le GPS Mobile Mapper 50 fonctionne en utilisant les signaux émis par les satellites GPS pour trianguler précisément la position du récepteur. Il utilise également d'autres technologies telles que le SBAS (Satellite-Based Augmentation System) pour améliorer la précision du positionnement dans les zones où la réception des signaux GPS est faible. Les résultats obtenus avec un GPS Mobile Mapper 50 sont des données de positionnement précises et fiables. Le récepteur peut fournir des coordonnées géographiques (latitude, longitude, altitude) avec une précision allant jusqu'à quelques mètres, voire moins dans de bonnes conditions de réception. Ces données peuvent être utilisées pour créer des cartes précises, effectuer des relevés topographiques, effectuer des mesures de distance et d'altitude, et bien d'autres applications.

Le GPS Mobile Mapper 50 est également équipé d'une mémoire interne et peut stocker les données collectées sur le terrain. Il dispose également d'une connectivité Bluetooth et d'une interface USB pour facilement transférer les données vers un ordinateur ou un système de traitement de données. Ce type de récepteur GPS est utilisé par de nombreux professionnels de la cartographie et de la topographie ainsi que par les entreprises d'ingénierie, les organismes gouvernementaux et les services de géomatique pour collecter, traiter et analyser les données spatiales.

Le « Leica GPS GS 15 », matériel adapté dans la collecte des données de terrain, rend le modèle aussi efficace. Après sa présentation, il y sera abordé son fonctionnement.

a. Présentation du matériel



b. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un Leica GPS GS15 est assez simple. Le GS15 utilise la technologie GPS (Global Positioning System) pour mesurer avec précision la position géographique d'un point donné. Il utilise les signaux radio émis par les satellites GPS en orbite autour de la Terre pour déterminer les coordonnées latitudinales, longitudinales et altitudinales d'un point. Il utilise également les signaux des systèmes de positionnement augmenté (SBAS) pour améliorer la précision de la mesure. Il peut également être utilisé avec des références terrestres, comme des stations de base, pour obtenir des mesures encore plus précises dans des applications nécessitant une grande précision géodésique. Les résultats obtenus sont généralement très précis. Toutefois, la précision dépend de divers facteurs. Il s'agit notamment du nombre de satellites disponibles, de la visibilité du ciel, de la distance entre le récepteur GS15 et les stations de base ainsi que la qualité du récepteur lui-même. En général, le GS15 peut fournir des résultats avec une précision d'environ ± 1 cm (0,4 pouce) en position horizontale et ± 2 cm (0,8 pouce) en position verticale. Cependant, la précision peut être améliorée en utilisant des techniques de post-traitement, qui consistent à enregistrer les données brutes et à les traiter ultérieurement à l'aide de logiciels spécialisés.

Fig. 3. Leica GPS GS15

Au final, le Leica GPS GS15 est capable de donner des positions géographiques très précises et fiables utilisable dans une variété d'applications telles que la topographie, l'arpentage, la construction, la cartographie et l'agriculture de précision.

Après l'aspect matériel du modèle sus évoqué, intervient la dimension informatique particulièrement avec le Langage de programmation python.

Python est un langage de programmation interprété et orienté objet. Il est connu pour sa syntaxe simple et facile à lire. Ce qui en fait un langage adapté aux débutants. Python est caractérisé par:

- Il est multiplateforme, ce qui signifie qu'il peut être exécuté sur différents systèmes d'exploitation tels que Windows, macOS et Linux.
- Il a une gestion automatique de la mémoire, ce qui signifie que les développeurs n'ont pas à se soucier de l'allocation et de la désallocation de la mémoire.
- Il offre une vaste bibliothèque standard qui facilite le développement de diverses applications.
- Il prend en charge plusieurs paradigmes de programmation, notamment la programmation impérative, fonctionnelle et orientée objet.
- Il est hautement extensible, ce qui signifie qu'il peut être intégré à d'autres langages de programmation tels que C, C++ et Java.
- Il est largement utilisé dans des domaines tels que l'analyse de données, le développement web, l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique.

Pour se connecter à MongoDB à partir de Python, vous pouvez utiliser le module pymongo. Assurez-vous d'abord d'avoir installé pymongo en exécutant pip install pymongo. Ensuite, vous pouvez suivre les étapes ci-dessous pour établir une connexion à une base de données MongoDB:

1. Importez le module pymongo: import pymongo
2. Établissez une connexion à la base de données en utilisant la fonction MongoClient: client = pymongo.MongoClient ("mongodb://localhost: 27017/")

   Ici, "mongodb://localhost: 27017/" est l'URL de connexion à MongoDB. Assurez-vous de spécifier le bon URL en fonction de l'emplacement de votre MongoDB.
3. Sélectionnez la base de données que vous souhaitez utiliser:

   db = client ["nom_de_la_base_de_données"]

   Remplacez "nomdelabasede_données" par le nom réel de votre base de données.
4. À partir de là, on travaille avec des collections et des documents de la base de données. A titre illustratif, un document peut être inséré dans une collection:

   collection = db ["nom_de_la_collection"]

   document = {"clé": "valeur"}

   collection.insert_one (document)

   On remplace "nomdela_collection" par le nom réel de la collection.

C'est tout pour la connexion à MongoDB à partir de Python en utilisant pymongo sans oublier d'ajouter les erreurs de gestion appropriées pour garantir une exécution sans problème du code.

L'APPORT DE MONGODB ET NOSQL

A. PRÉSENTATION DE MONGODB

MongoDB est une base de données NoSQL développé par la société MongoDB Inc. Il est conçu pour stocker, manipuler et gérer de grandes quantités de données non structurées, semi-structurées et structurées, en fournissant non seulement une performance élevée, une évolutivité horizontale et une grande flexibilité mais aussi il utilise un modèle de données orienté document. Ce qui signifie que les données sont stockées sous forme de documents JSON (JavaScript Object Notation). Par la suite, les documents sont regroupés dans des collections, qui sont similaires aux tables dans les bases de données relationnelles traditionnelles.



Fig. 4. Logo MongoDB

Une des caractéristiques clés de MongoDB est sa capacité à mettre à l'échelle horizontalement. De nouveaux serveurs peuvent être ajoutés à l'infrastructure créée pour gérer une charge de travail croissante. De plus, MongoDB offre des fonctionnalités intégrées de réplication et de tolérance aux pannes, assurant ainsi une disponibilité continue des données. Il prend également en charge un large éventail de fonctionnalités avancées telles que l'indexation, les recherches textuelles, l'agrégation, les mises à jour en masse et les transactions distribuées. Il possède également une interface de programmation (API) riche qui permet aux développeurs de travailler avec MongoDB dans leur langage de programmation préféré. Il est une solution moderne et évolutive pour la gestion de grandes quantités de données, offrant une flexibilité maximale et des performances élevées. Que ce soit pour des applications web, mobiles ou d'analyse de données, MongoDB est un choix populaire parmi les développeurs et les entreprises du monde entier.

B. CARACTÉRISTIQUES DE MONGODB

Chaque base de données MongoDB contient des **collections** contenantes elles-mêmes des **documents**. Chaque document est différent et peut comporter un nombre de champs variable. La taille et le contenu de chaque document varient également. La structure d'un document correspond à la façon dont les développeurs construisent leurs classes et objets dans le langage de programmation utilisé. En général, les classes ne sont pas de lignes et des colonnes mais ont une structure claire composée de paires de clés / valeurs illustré ci-dessous:

```
{
"Nom du projet": "EASEMALT",
"Lieu d'exécution": "Kinshasa",
"Entreprise":"ABC-SODIMEL"
"Maitre d'ouvrage": "SNEL SA"
}
```

Dans notre cas, *Nom du projet* est la clé, *EASEMALT* est la *valeur*

Plusieurs documents peuvent être imbriqués ensemble pour former un document plus complexe:

```
{
"Nom_du_projet": "EASEMALT",
"Lieu d'exécution": "Kinshasa",
"Entreprise":"ABC-SODIMEL"
Adresse:
Adresse:{
          "Avenue":"1, OUA",
       }  "Commune":"NGALIEMA",
          "Ville":"KINSHASA",
          "Pays":"RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO"

}
```

Il est également possible de mettre des listes comme celle repris ci-dessous:

```
{
"Nom_du_projet": "EASEMALT",
"Lieu_d'execution": "Kinshasa",
"Entreprise":"ABC-SODIMEL"
Poche_Noire:[
"Nom":"Poche Noire 7","Longueur de la ligne en mètre":xxx,
"Nombre poteaux MT":,
"Nom":"Poche Noire 8","Longueur de la ligne en mètre":xxx,
"Nombre poteaux MT":,
"Nom":"Poche Noire 9","Longueur de la ligne en mètre":xxx,
"Nombre poteaux MT":,
"Nom":"Poche Noire 10","Longueur de la ligne en mètre":xxx,
"Nombre poteaux MT":,
"Nom":"Poche Noire 11","Longueur de la ligne en mètre":xxx,
"Nombre poteaux MT":
]
```

Les documents n'ont pas de schéma prédéfini et des champs peuvent être ajoutés à volonté. Le modèle de données disponibles au sein de Mongo DB permet de représenter des relations hiérarchiques ou autre structure complexe plus facilement.

```
db.pocheNoire.insert (

        {
            Poteau:type :"Point",coordinates [-73.97,40.77],
            NomPocheNoire : "PN7" ,
            NumeroPoteau : "20kV/P.06/10/P.04"
            TypePoteau : "PAF2/DERIVATION"
            HauteurPoteau (m) : 13
            HauteurHorsSol (m) : 11.1
            Angle(degré) : 101.13
            Deviation (Droite ou Gauche) :"D"
)       }
```

Une autre caractéristique majeure de Mongo DB est l'élasticité de ses environnements. De nombreuses entreprises ont des clusters de plus de 100 nœuds pour des bases de données contenant des millions de documents.

C. CRÉATION D'UNE BASE DE DONNÉES AVEC OPTION DANS MONGODB

- OPTION 1: UTILISATION DE L'INTERFACE EN LIGNE DE COMMANDE (ILC)

Comme la plupart des systèmes logiciels complexes, MongoDB peut être contrôlé avec ce que l'on appelle une interface en ligne de commande, souvent appelée **ILC** (CLI ou Command-Line Interface en anglais). En entrant des commandes dans ILC, **l'analyste** indique à Mongo DB comment fonctionner, obtenir des informations sur le fonctionnement du cluster Mongo DB et effectuer des actions fondamentales comme celle que nous allons aborder dans cette thèse: créer une base de données. Mongo DB dispose également d'une interface utilisateur graphique (GUI), une interface graphique appelée Compass qui peut être utilisée pour effectuer la plupart des tâches de commande faites en ligne.

Ainsi, si l'**analyste** souhaite créer une base de données à l'aide d'une interface en ligne de commande, la première tâche consiste à accéder au cluster Mongo DB via **shell Mongo DB**. Il y a lieu de préciser que shell est un programme qui permet faire entrer des commandes dans un système logiciel.

- OPTION 2: CRÉATION D'UNE BASE DE DONNÉES MONGO DB AVEC L'ILC (LE SHELL MONGODB) }

Le shell Mongo DB facilite l'accès à un cluster toutes les bases des données à l'aide de la commande " show ":

```
db.pocheNoire.insert (
{   Poteau:type :"Point",coordinates [-73.97,40.77],
    NomPocheNoire : "PN7" ,
    NumeroPoteau : "20kV/P.06/10/P.04"
    TypePoteau : "PAF2/DERIVATION"
    HauteurPoteau (m) : 13
    HauteurHorsSol (m) : 11.1
    Angle(degré) : 101.13
    Deviation (Droite ou Gauche) :"D"
)
}
```

D. ARCHITECTURE MONGO DB ET SES COMPOSANTS

1. Base de données NoSQL: MongoDB est une base de données de type NoSQL, ce qui signifie qu'elle ne suit pas le modèle de données relationnel traditionnel utilisé par les bases de données SQL.
2. Structure orientée document: MongoDB stocke les données dans des documents flexibles de type BSON (Binary JSON), qui sont similaires aux objets JSON. Cette structure permet une meilleure flexibilité dans le schéma des données, car les documents peuvent avoir des champs différents les uns des autres.
3. Évolutivité horizontale: MongoDB est conçu pour fonctionner sur des clusters de serveurs, ce qui permet une évolutivité horizontale facile en ajoutant simplement de nouveaux nœuds au cluster. Cela permet d'augmenter la capacité de stockage et de traitement des données de manière transparente.
4. Indexation et requêtes rapides: MongoDB prend en charge l'indexation pour accélérer les requêtes, ainsi que des opérations de recherche flexibles et puissantes grâce à son moteur de recherche intégré.

5. Réplication et tolérance aux pannes: MongoDB offre des fonctionnalités intégrées de réplication, ce qui permet de créer une copie de sauvegarde des données dans des serveurs supplémentaires. En cas de panne d'un serveur, les autres serveurs peuvent continuer à fonctionner, garantissant ainsi la disponibilité des données.
6. Agrégations et opérations avancées: MongoDB prend en charge des opérations avancées telles que l'agrégation de données, les jointures et les mises à jour atomiques, ce qui permet de réaliser des opérations complexes sur les données de manière efficace.
7. Écosystème et intégrations: MongoDB dispose d'un vaste écosystème d'outils et de bibliothèques qui facilitent le développement d'applications. De plus, il offre des intégrations avec de nombreux langages de programmation populaires tels que Python, Java et Node.js.
8. Haute disponibilité: MongoDB assure une haute disponibilité grâce à la réplication des données sur plusieurs serveurs et à la détection automatique des pannes. Cela permet de garantir la continuité du service même en cas de défaillance matérielle.



Fig. 5. Logo MongoDB avec le framework Django

9. Évolutivité verticale: MongoDB est capable de gérer de grandes quantités de données en les stockant en mémoire vive (RAM). Cela permet des opérations de lecture et d'écriture rapides, ainsi qu'une utilisation efficace des ressources système.
10. Licence open source: MongoDB est distribué sous une licence open source, ce qui signifie qu'il peut être utilisé gratuitement et que son code source est accessible à tous pour être étudié et modifié selon les besoins.

L'USAGE DE LA CARTOGRAPHIE NOUS A CONDUIT À INTÉGRER UN LOGICIEL INTERACTIF

Le serveur cartographique HERE Maps est un ensemble de serveurs répartis dans le monde entier qui stockent et distribuent les données cartographiques de HERE. Ces données comprennent des cartes de rue, des cartes aériennes, des cartes de terrain et des informations sur les points d'intérêt.

Le serveur cartographique HERE Maps est utilisé par une variété de produits et services, notamment les applications mobiles HERE Maps, les applications de navigation et les sites Web cartographiques. Il est également utilisé par des entreprises et des organisations pour des applications de géolocalisation, telles que la planification des itinéraires, la gestion des flottes et la publicité géolocalisée.



Fig. 6. Logo du serveur Here Map

L'APPORT DU FICHIER JSON

Le fichier JSON (JavaScript Object Notation) est un format de données léger et facile à lire et à écrire. Il est souvent utilisé pour échanger des données entre un serveur et une application web, comme alternative à XML.

Les apports du fichier JSON sont nombreux:

- Facilité de lecture et d'écriture: Le fichier JSON est basé sur un modèle de données simple et clair, qui est facile à comprendre pour les humains.
- Efficacité: Le fichier JSON est un format de données léger, qui prend peu de place en mémoire. Cela le rend idéal pour l'échange de données sur un réseau.

- Portabilité: Le fichier JSON est un format de données indépendant de tout langage de programmation. Cela le rend facile à utiliser avec différents langages.
- Flexibilité: Le fichier JSON peut représenter une grande variété de données, notamment des chaînes de caractères, des nombres, des listes, des objets et des valeurs nulles.

Le fichier JSON est utilisé dans de nombreux domaines, notamment:

- Le développement web: Le fichier JSON est utilisé pour échanger des données entre un serveur et une application web.
- Le développement d'applications mobiles: Le fichier JSON est utilisé pour échanger des données entre une application mobile et un serveur.
- L'analyse de données: Le fichier JSON est utilisé pour représenter des données structurées, qui peuvent être facilement analysées par des logiciels.

Voici quelques exemples d'utilisation du fichier JSON:

- Un site web peut utiliser un fichier JSON pour stocker les informations d'un produit, telles que le nom, le prix et la description.
- Une application mobile peut utiliser un fichier JSON pour stocker les paramètres de l'utilisateur, tels que son nom, son adresse e-mail et ses préférences.
- Un logiciel d'analyse de données peut utiliser un fichier JSON pour représenter un ensemble de données, telles que les ventes d'une entreprise sur une période donnée.

Le fichier JSON est un format de données puissant et polyvalent, qui est utilisé dans de nombreux domaines.

4 ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

EXPÉRIENCE SUR POTEAUX ET CABINES ATTACHÉS

Les transformateurs du projet **EASE** sont de type haut de poteaux sont utilisés pour distribuer l'électricité du réseau MT au réseau BT. Ils sont installés sur des poteaux électriques et sont conçus pour être compacts et faciles à installer.

La tension de sortie de 220 V est la tension standard pour les réseaux électriques domestiques en République démocratique du Congo. Elle est fournie par trois fils: un fil de phase, un fil neutre et un fil de terre.

Voici un tableau récapitulatif des caractéristiques techniques des transformateurs haut de poteaux du projet **EASE** pour une tension de sortie de 220 V:

Caractéristique	Valeur
Type	Transformateur de distribution
Tension d'entrée	20 kV
Tension de sortie	220 V
Puissance	250 kVA ou 500 kVA



Fig. 7. Transformateur haut de poteau

Ces caractéristiques et valeurs sont susceptibles d'orienter la prise de décision des managers techniciens de la société.

Ces données collectées sur terrain sont transmises au bureau pour traitement par un réseau de télécommunication. Elles vont subir cinq étapes ci-après:



Fig. 8. Récupération de données d'une station totale vers l'ordinateur

- Etape 1: Branchement de l'appareil à l'ordinateur;
- Etape 2: Choix du menu importé;
- Etape 3: Faire fonctionner l'appareil;
- Etape 4: Traitement des données par l'opérateur (Topographe ou géomètre topographe);
- Etape 5: Production des plans (à la demande).

Une fois arrivée au bureau, elles font l'objet de transcription en quatre étapes ci-après

- Etape 1: Connexion de l'appareil à l'ordinateur;
- Etape 2: Transfert des données de l'appareil à l'ordinateur;
- Etape 3: Sélection des données essentielles;
- Etape 4: Constitution de la base des données du réseau.

Enfin le traitement débouche sur la **Conception du SGBD NoSQL MongoDB** dont caractéristiques se présentent de la manière suivante:

Etape 1: Création d'un document MongoDB;	Créer une base de données: Démarrez le serveur MongoDB et ouvrez une nouvelle fenêtre de terminal ou une interface de ligne de commande MongoDB. Utilisez la commande suivante pour créer une nouvelle base de données: use <nom_de_la_base_de_données>
Etape 2: Créer une collection dans la base des données;	Créer des collections: Pour créer une collection, utilisez la commande suivante dans la console MongoDB: db.createCollection ("<nom_de_la_collection>"))
Etape 3: Ajout des éléments dans la base des données;	Insérer les données: Vous pouvez insérer les données importées dans la collection créée en utilisant la méthode `insertMany () ` ou `insertOne () ` de MongoDB. Par exemple, si vous souhaitez insérer toutes les données importées dans la collection "donnees", utilisez la commande suivante: db.donnees.insertMany (db.<nom_de_la_collection>.find ().torray ())
Etape 4: Requête de l'utilisateur à la base des données.	Interroger les données: Vous pouvez interroger les données en utilisant les méthodes de requête de MongoDB. Par exemple, pour récupérer tous les documents de la collection "donnees", utilisez la commande suivante: db.donnees.find ()

L'utilisateur peut alors exporter les bases des données constituées en trois étapes dont:

- Etape 1: Clic sur exporter en version JSON;
- Etape 2: Menu et choix du format CVS.
- Etape 3: Mise à la disposition des utilisateurs.

DONNÉES LES POTEAUX

Le projet utilise quatre types de poteaux suivants:

1. Poteau **PSL** (Poteau Simple Ligne): Les poteaux PSL sont généralement utilisés pour les lignes de distribution basse tension. Ils peuvent supporter des angles de virage allant jusqu'à environ 10 à 15 degrés.
2. Poteau **PSN** (Poteau Simple Normalisé): Les poteaux PSN sont utilisés pour les lignes de distribution de basse et moyenne tension. Ils sont plus résistants que les poteaux PSL et peuvent supporter des angles de virage allant jusqu'à environ 15 à 30 degrés.
3. Poteau **PAR** (Poteau d'Angle Renforcé): Les poteaux PAR sont conçus spécifiquement pour supporter des angles de virage plus prononcés. Ils peuvent généralement supporter des angles de virage allant jusqu'à environ 30 à 45 degrés, voire plus, en fonction de leur conception et de leur renforcement.
4. Les **PAM** sont généralement conçues pour supporter des angles de virage allant jusqu'à 30 degrés. Cela signifie que la structure du poteau est conçue de manière à maintenir la stabilité des câbles électriques lorsqu'ils sont soumis à un angle de virage dans cette plage. Au-delà de cet angle limite, d'autres solutions telles que les poteaux d'angle fort (**PAF**) peuvent être utilisées pour assurer la stabilité des câbles à haute tension.
5. Les poteaux d'angle fort (**PAF**) sont conçus pour supporter des angles de virage plus prononcés que les poteaux d'angle moyen (**PAM**). Ils peuvent généralement supporter des angles de virage allant jusqu'à 90 degrés, voire plus. Cela signifie que la structure du poteau est conçue de manière à maintenir la stabilité des câbles électriques lorsqu'ils sont soumis à des changements de direction plus importants. Les PAF sont donc utilisés dans les sections du réseau électrique où des angles de virage importants sont nécessaires pour contourner des obstacles ou suivre le tracé du réseau.

L'implémentation du modèle s'est aussi étendue aux poches noires. Une poche noire est grâce à Google earth, il a été possible de dénombrer quatre situation

La première est celle de la poche noire n°1 présentée ci-après:



Fig. 9. Image Google Earth de la poche noire 1

a. Recueil des données géo spatiales de terrain
b. Transfert et transcription des données de terrain au bureau
c. Importation des données de l'appareil topographique vers l'ordinateur de traitement
d. Structuration des données

CONCLUSION PARTIELLE

La poche noire n°1 a une superficie de près de 2 km^2. Elle est localisée dans la commune de Mont-Ngafula, dans la localité MITENDI II, Quartier MITENDI. Elle est limitée:

- Au Nord, à l'Est, et à l'Ouest par le réseau PEPUR les cabines du réseau PEPUR (Marche M05 et M02) ainsi que les cabines du réseau SNEL existant;
- Au sud, par la province du Kongo-Central.

La quasi-totalité des maisons de cette poche noire sont en matériaux durables. Plusieurs constructions en hauteur (immeubles, écoles, hôpitaux) sont actuellement en cours de la réalisation.

L'urbanisation de cette poche n'est pas complètement achevée à ce jour, plusieurs avenues ou rues ne portent pas de nom et la majorité des parcelles ne portent pas de numéro.

L'accessibilité a la poche noire est assez bonne. On y accède par la route de Kingatoko et l'avenue " entrée Grand-Hôtel ". La route de Kingatoko est menacée par plusieurs têtes d'érosion pouvant la rendre impraticable dans les jours à venir.

Les avenues n'offrent pas le dégagement nécessaire a l'implantation d'un réseau MT avec des conducteurs nus poses sur des poteaux métalliques.

Le deuxième est celle de la poche noire n°2 elle est représentée ci-dessous:

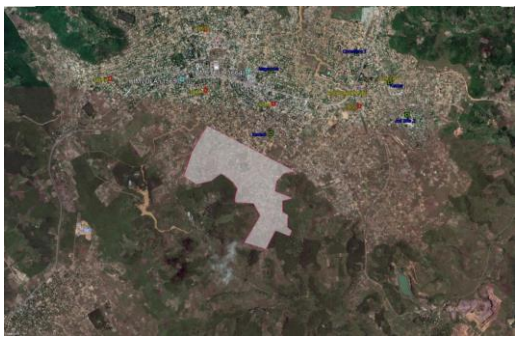


Fig. 10. Image Google Earth de la poche noire 2

a. Recueil des données géo spatiales de terrain
b. Transfert et transcription des données de terrain au bureau
c. Importation des données de l'appareil topographique vers l'ordinateur de traitement
d. Structuration des données

CONCLUSION PARTIELLE

La poche noire n°2 a une superficie de près de 1 km^2. Elle est localisée dans la commune de Mont-Ngafula, dans la localité MITENDI II, Quartier MITENDI.

La poche noire est limitée:

⊷ Au Nord, à l'Est, et à l'Ouest par le réseau BT PEPUR et le réseau classique EASE

(Cabine KAZADI);

⊷ Au sud, par la province du Kongo-Central.

La quasi-totalité des maisons de la poche est en matériaux durables. Seul le Sud de la poche noire permet une extension future du réseau électrique.

L'urbanisation de la poche n'est pas complètement achevée à ce jour, plusieurs avenues ou rues ne portent pas de nom et la majorité des parcelles ne portent pas de numéro.

L'accessibilité à la poche noire est assez bonne. On y accède par l'avenue qui aboutit jusqu'à la nationale N°1. Les avenues n'offrent pas le dégagement nécessaire à l'implantation d'un réseau MT avec des conducteurs nus posés sur des poteaux métalliques

Le troisième est celle de la poche noire n°3. Elle est présentée ci- dessous:



Fig. 11. Image Google Earth de la poche noire 3

a. Recueil des données géo spatiales de terrain
b. Transfert et transcription des données de terrain au bureau
c. Importation des données de l'appareil topographique vers l'ordinateur de traitement
d. Structuration des données

CONCLUSION PARTIELLE

La poche noire n°3 a une superficie de près de 1 km^2. Elle est localisée dans la commune de Mont-Ngafula, dans le quartier Kimvula.

La poche noire est limitée:

⊷ Au Nord par la cité Millénium et;

⊷ Au Sud par le réseau BT de la cabine KIMVULA (PEPUR).

L'urbanisation de la poche n'est pas complètement achevée à ce jour, plusieurs avenues ou rues ne portent pas de nom et la majorité des parcelles ne portent pas de numéro.

L'accessibilité à la poche noire est assez bonne. On y accède par l'avenue Millénium qui aboutit jusqu'à la nationale N°1.

La quatrième est celle décrite ci-dessous:



Fig. 12. Image Google Earth de la poche noire 4

a. Recueil des données géo spatiales de terrain
b. Transfert et transcription des données de terrain au bureau
c. Importation des données de l'appareil topographique vers l'ordinateur de traitement
d. Structuration des données

CONCLUSION PARTIELLE

La poche noire n°1 a une superficie de près de 1 km^2. Elle est localisée dans la commune de Mont-Ngafula, dans le Quartier sans fil série 10.

Elle est limitée:

- Au Nord et l'Ouest par des zones couvertes par les cabines PEPUR du CVS Logec, respectivement les cabines de distribution 20/0,4 kV Matadi Mayo, Matadi Mayo village et Mumpi;
- Au sud et à l'Est, la poche noire est limitée par une vaste zone non encore habitée.

La quasi-totalité des maisons de la poche noire sont en matériaux durables.

L'accessibilité à la poche noire est assez bonne, on y accède à partir de la route nationale N°1 à partir du quartier en Vrac.

Configuration des données extraites et leur structuration permettent de construire un modèle de centralisation à quatre composantes ci-après:

a. Le sous-système des données topographiques du Quartier électrifié
b. Le sous-système des données cartographiques du Quartier électrifié
c. Le sous-système des données géo spatiales du Quartier électrifié
d. Le sous-système des données sur le Neutre effectivement mis à la terre moyenne tension du Quartier électrifié

CONCLUSION PARTIELLE :

Elle est traduite par la figure ci-après:

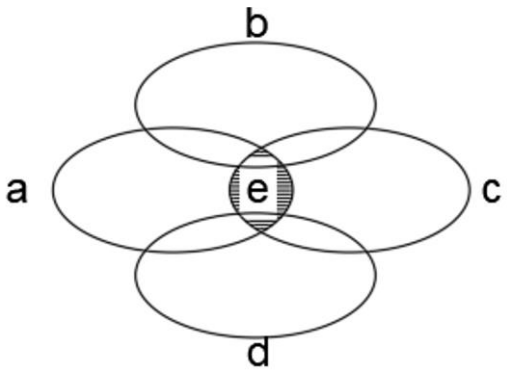


Fig. 13. Centralisation des données interdisciplinaires



Fig. 14. Armoire de Commande ouvert



Fig. 15. Armoire de Commande montée sur Poteau



Fig. 16. Puit de terre

5 CONCLUSION

Dans la présente recherche qui s'inscrit dans le cadre du Projet EASE 2 Lot MALT du Gouvernement de la République Démocratique du Congo qui consiste à électrifier les zones urbano-rurales dont le Quartier Mitendi de la Ville-Province de Kinshasa et piloté sur terrain par la SNEL SA, il se dégage de l'analyse réalisé que nos hypothèses de départ ont été confirmées.

En effet, dans l'opérationnalisation de ce projet d'électrification, les opérateurs ont adopté la Technique du neutre effectivement mis à la terre distribuée et rattachée aux poteaux de transport des lignes électriques puis manipulé en informatique grâce au SGBD NoSQL MongoDB mis au point quant à ce. C'est un modèle réalisé pour le bien être des utilisateurs tels que les analystes des données ainsi que les administrateurs situés à différents niveaux du système organisationnel et hiérarchique de cette entreprise. Le fonctionnement de ce nouveau système a été expérimenté, testé en interne à la SNEL SA au point qu'il présente une efficacité satisfaisante. En outre, elle constitue une aide précieuse dans la prise de décision non seulement opérationnelle mais aussi stratégique. Par ailleurs, il apparaît que la performance de ce modèle a été rendu possible grâce à la contribution des instruments technologiques de dernière génération tels que la Station Totale Builder 309, le GPS Mobile Mapper 50 et Léïca GPS GS 15 en combinaison avec le Système Informatique appuyé par le langage de programmation phyton, le logiciel de cartographie interactif et le fichier JSON, outils utilisés dans la collecte et traitement des données.

Enfin, notre recherche s'est heurtée à deux principales limites qui seront levées grâce au déploiement ultérieur de deux articles dont l'un se focalisera sur le tableau de bord de pilotage basé sur le SGBD NoSQL MongoDB destiné à l'usage des décideurs et l'autre planchera sur l'informatisation de la gestion des cabines électriques.

ABREVIATIONS

PMURR: Programme multi-sectoriel d'urgence de réhabilitation et de Reconstruction
PMEDE: Projet de Marché d'Électricité pour la consommation
PEPUR: Projet d'électrification périurbaine et rurale
EASE: Electricity Access Services Expansion
NoSQL: Non Structured Query Language

REFERENCES

[1] K. Kachoko et others, « Réforme du secteur de l'électricité en République démocratique du Congo: Les écueils d'une politique publique de développement«, *Réforme Sect. Lélectricité En Répub. Démocr. Congo,* p. 1-126, 2021.
[2] J. Akoka et I. Comyn-Wattiau, *Conception des bases de données relationnelles: en pratique*. Vuibert informatique, 2001.
[3] C. Gy\Horödi, R. Gy\Horödi, G. Pecherle, et A. Olah, « A comparative study: MongoDB vs. MySQL », in *2015 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES),* 2015, p. 1-6.
[4] T. Moukam, Proprietes des dependances difonctionnelles dans les bases de donnees relationnelles. Universite Laval, 1993.
[5] MongoDB: the definitive guide: powerful and scalable data storage. O'Reilly Media, 2019.
[6] D. Hows, P. Membrey, et E. Plugge, *MongoDB Basics*. Springer, 2014.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 946-956
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Assessment of interactions between raw water from the N'Djili river, groundwater and water treated by the Water Distribution Administration in Kinshasa, Democratic Republic of Congo

Innocent MUFUNGIZI[1-2-3-4], Ruben LOOLA[1-3], Jean KABULO[1-3], Ridi DIAKONDUA[1-3], Hubert KAWAYA[1-3], Roda BONGELI[1-3], Jonathan MUSITU[1], Koy KASONGO[1-2], and Aymar AKILIMALI[4-5]

[1]Faculty of Sciences and Technologies, University of Kinshasa, Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

[2]Pedo-Geochemistry Laboratory, University of Kinshasa, Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

[3]LeGeolog Research Team, Kinshasa, RD Congo

[4]The marine Biological Association (MBA), Plymouth, United Kingdom

[5]Department of research, Medical Research Circle (MedReC), Goma, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Background*: Water has an important place in the life of human beings. Regardless of the uses of water, water intended for human consumption must be clean. Despite the fact that the catchments of this water are chemically and microbiologically polluted. The objective of this study is to evaluate the interactions between types of water including that intended for human consumption in the city of Kinshasa.
Methods: Our analytical and experimental study based on laboratory analysis which was carried out over a period of approximately one month (the month of September 2023) while respecting a certain number of steps. This involves geo-environmental investigation, geographic location, collection and analysis of samples as well as interpretation of the results.
Results: After our chemical analyses, we found that the pH of the water is very acidic, the turbidity of the water analyzed is normal, the conductivity is below normal as well as the permanganate index, nitrites and chlorides. Phosphate and nitrates exceed the normal value. Bacteriological analyzes show the development of colonies with the presence of total and fecal coliforms and Escherichia Coli.
Conclusion: The results of the analyzes showed that the water is contaminated and polluted chemically and biologically by chemicals (through the abusive use of chemical fertilizers and pesticides which release nitrogen, phosphorus and chlorine) coming from the activities agricultural and livestock farming.

KEYWORDS: Contamination, Hydrochemistry, REGIDESO, PCA, WIHC.

1 INTRODUCTION

For a long time, water has been of capital importance in the life of human beings [1]. Water serves both as a food, a possibly medicine but also an industrial, energy (to produce electricity) and agricultural raw material, and also a means of transport [2]. Water intended for human consumption is drinking water or water intended for personal hygiene while drinking water is water intended to be ingested by humans [3].

The city of Kinshasa is a large city and the capital of the Democratic Republic of Congo (DR Congo), this city is crossed by the Congo River, one of the great rivers of Africa [4]. The water which is intended for use and consumption by the population of the city of Kinshasa is captured in the part of the watersheds of the rivers as well as from the portion of the Congo River by

the water distribution administration (REGIDESO) of the city of Kinshasa [5]. The water of the N'Djili river is polluted during the rainy season by certain anthropogenic activities which take place in the area around the catchment, this water is chemically polluted by sodium, sulfate, chloride and many other chemical elements but also by certain metallic trace elements such as cadmium, lead and arsenic and also microbiologically polluted. This pollution causes a lot of work during the treatment of water by REGIDESO [6].

Groundwater is a source of drinking water in many countries around the world, it is the most abundant source of fresh water available and most of the raw materials extracted on the planet [7,8,9]. Groundwater feeds water sources; this water can contaminate and alter the ecological function of freshwater habitat, which has negative consequences on the ecology of human species [10].

Water which is intended for human consumption must be drinkable therefore must respect biological and chemical conditions and must meet certain requirements such as the hydrogen potential (pH) must be between 6.5-8.5, nitrites <0.2 mg/ l, nitrates <50mg/l, sodium <200mg/l, fluoride <1500µg/l, chloride <250mg/l [11].

This study focuses on the evaluation of interactions between the water of the N'Djili River, groundwater and water treated by REGIDESO. As a result, this study will take into account the impact of anthropogenic activities on water resources in general and on so-called "drinkable" treated water in particular. This study compares the qualitative point of view of the three types of water in order to effectively mitigate the risk of water contamination in the environment and to inform the population about water quality.

2 METHODS

This study has a methodology which was carried out by the following steps:

STEP-1: RESEARCH QUESTIONS

The first step of the methodology was to ask research questions while specifying them in the literature review.

STEP-2: GEO-ENVIRONMENTAL INVESTIGATION

Here, the aim is to identify possible sources of contamination and to assess the state of the environment during a period of 3 days, i.e., a period ranging from September 5 to 8, 2023.

STEP-3: GEOGRAPHIC LOCATION

All the sampling points were identified while plotting them on a topographical background during the period from September 11 to 14, 2023. We used as equipment for this phase: A Garmin 60 brand Global Positioning System, a high-quality camera Canon brand and an Android version Smartphone.

STEP-4: COLLECTING ALL SAMPLES

We carried out a sampling campaign to collect the samples which we sent to the laboratory for analyzes during the date of September 16, 2023.

The choice of water sampling points was made as follows:

- For raw water from the N'Djili River, three samples were taken. The first was taken upstream of the REGIDESO catchment on the N'Djili river, in the municipality of Matete, the second at the catchment in the municipality of Limete and the third downstream of the catchment in the municipality of Masina;
- For groundwater, two springs and a borehole were sampled respectively in the municipalities of Masina and N'Djili;
- For water treated by REGIDESO, three samples were taken in the municipalities of Matete, Limete and Masina.

To access the sampling points, we crossed the N'Djili river by canoe. 1 liter plastic bottles were used for sampling water intended for physicochemical analyzes and glass bottles for water intended for bacteriological analyzes while using markers to label said samples. The water intended for bacteriological analyzes was collected in sterile glass bottles as mentioned above, and in an aseptic manner. For storage and transport, equipment containing a cooling system was used to limit the interactions of the samples with the ambient air. Fig. 1 shows the sampling map where all the sampling points are represented.

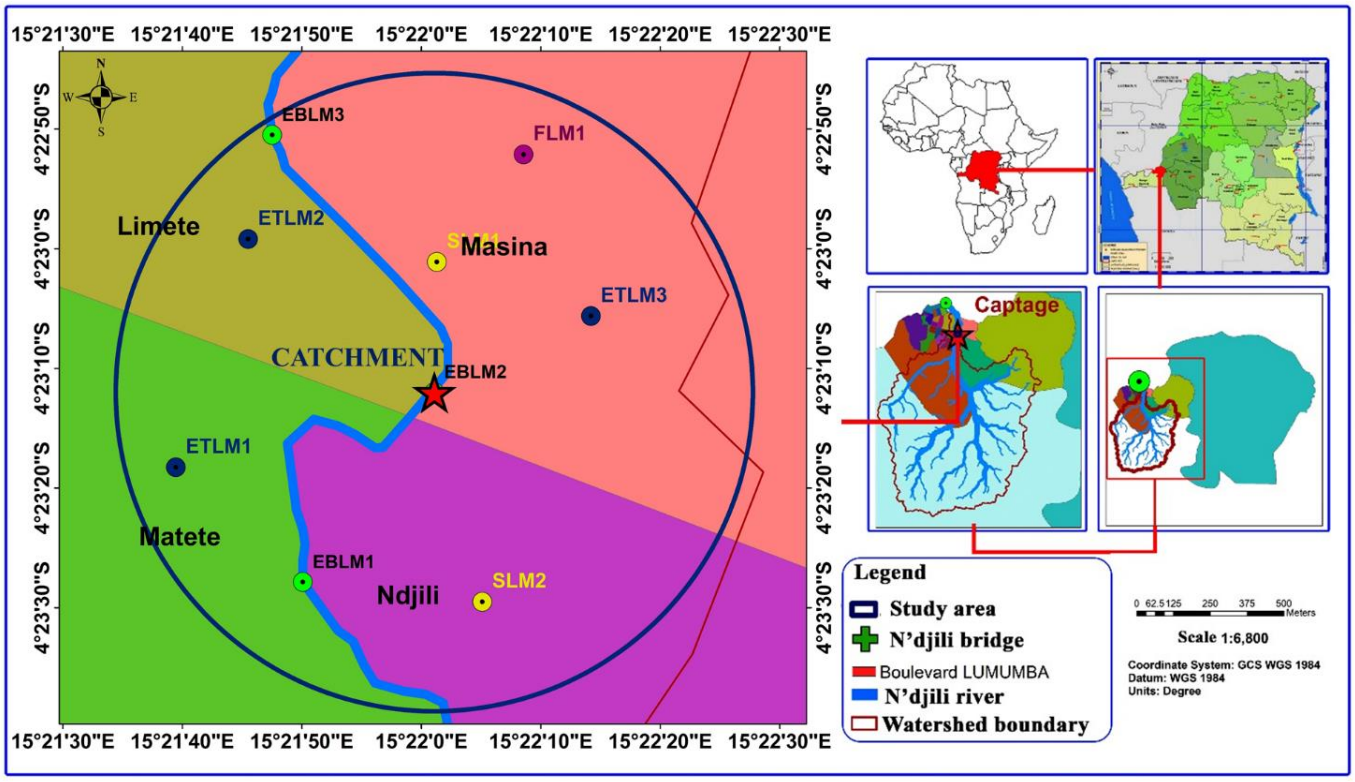


Fig. 1. Map representing the points where sampling was carried out. EBLM1, 2 and 3 represent the river water samples; ETLM1, 2 and 3 represent the water samples treated by the Water Distribution Authority; FLM and SLM1,2 represent groundwater samples

STEP-5: LABORATORY ANALYZES

The collected samples were analyzed in the central REGIDESO laboratories in Kinshasa (from September 16, 2023). For the physical and chemical part, we analyzed the following parameters: Hydrogen potential (pH), Temperature, Turbidity, Conductivity, Hardness, Color, Permanganate Index (Oxidizable Matter), Rate Dissolved Solids, Phosphates, Nitrites, Silica, Iron, Chlorides, and Nitrates. For bacteriological parameters, we analyzed total coliforms, fecal coliforms and Escherichia coli. For these analyses, we used the operating mode of the REGIDESO central laboratory specified in the documents of the Water and Laboratory Quality Department based on ISO standards. We had access to the following equipment: The water bath, the hot plate, the distiller, the magnetic stirrer, the desiccator, the refrigerator, The spectrophotometer, the pH meter, the conductivity meter, the turbidimeter, the wash bottles, the ramp of filtration, the gas bottle, the incubator, the colony count, the oven and the petri dishes containing the culture media.

STEP-6: DATA PROCESSING, ANALYSIS AND INTERPRETATION

For the processing or statistical analysis of the data, we used Excel 2021 with the XL STAT software component for the correlation circle of the physicochemical parameters analyzed, the observation of individual-individual and individual-variable links (Biplot) and R Studio Software version 3.5.3 for the matrix of correlation coefficients between the physicochemical parameters of the water analyzed.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Concerning the laboratory analyzes carried out in this study, we have presented the results of the physical and chemical analyzes in table 1.

Table 1. Results of all physical and chemical parameters analyze

PARAMETERS	EB1	EB2	EB3	ET1	ET2	ET3	F	S1	S2
Ph	6.78	6.82	6.8	6.55	6,77	6,87	4.18	5.56	4.31
Turbidity (NTU)	31.2	27.3	30.2	3.7	3.5	5.6	15.3	2.8	1.2
Conductivitéy (µS/cm)	45.98	42.62	51.87	52.95	57.91	51.52	591.67	941.29	874.42
Total dissolved solids (mg/L)	24.5	22.4	26.7	27.5	30.1	26.6	306	475	447
Temperature (°C)	27.5	27.5	26.3	26.5	26.6	26.4	26.6	26.4	26.1
Color (UPt /Co)	78.5	68.5	75.5	2	4	10	26	3.5	0.5
Organic material (mg/L)	11.6	7.2	12.4	0.8	0.6	1.4	4.4	1.6	1.2
Hardness (THt)	3.8	3.8	3.2	2.2	1.8	3.6	8.4	19	9
Phosphate (mg/L)	0.038	0.064	0.094	0.031	0.054	0.045	0.077	0.025	0.035
Chloride (mg/L)	45.44	22.72	31.24	26.98	32.66	34.08	46.86	92.3	82.36
Nitrites (mg/L)	0.027	0.033	0.026	0.019	0.032	0.013	0.032	0.068	0.017
Iron (mg/L)	1.13	1.31	1.46	0.27	0.2	0.24	0.61	0.07	0.1
Silice (mg/L)	-	-	-	-	-	-	0.199	0.625	-
Nitrate (mg/L)	6.4	6.8	7.2	12.9	9	5.5	**298**	**426**	**228.6**

We have the following results: the pH of the water analyzed fluctuates between 4.18 and 6.87. It is very acidic for spring and borehole water which displays results at the lower limit according to the standard which is 6.5, but for treated water intended for consumption and human use must respect the international standard which is between 6.5 and 9.5 according to the requirements of the European Union [12]. The turbidity of the water after the analysis is between 1.2 and 31.2 (fig. 2a). The standard set by the World Health Organization is 1 Nephelometric Turbidity Unit (NTU), so not all samples analyzed meets the World Health Organization turbidity standard. As the turbidity of the water in the region is high, REGIDESO tolerates turbidity which varies up to 5 NTU. The transition from 31.2 NTU for raw water to 3.5 NTU for treated water occurs during the treatment of water intended for human consumption [13,6].

The conductivity values vary between 42.62 micro siemens/centimeter (µS/cm) for the raw water of the N'Djili River and 941.26 µS/cm for source number 2. The standard of the World Organization of Health being 1200 µS/cm for water intended for human consumption, all the waters analyzed have conductivity values lower than that of the required standard and certain authors [14,6] have found conductivity values ranging respectively from 68 to 1143 µS/cm for groundwater and an average of 21.48 µS/cm for the water of the N'Djili river.

Thus, for the results of the analyzes on the levels of dissolved solids, the results vary between 22.4 milligrams per liter (mg/L) (for the water of the N'Djili river) and 447 mg/L (for the water from source number 2). While the guide or reference value according to the World Health Organization is 600 mg/L, which implies that the water analyzed has Total Dissolved Solids (TDS) values lower than the limit set by the recommended standard. The authors *Chouafa et al*. found an average value for the level of dissolved solids of 429 mg/L in the water analyzed in their study published in 2012 [15].

The temperature values vary between 23.5 and 27.5° Celsius (°C) respectively in the waters of the N'Djili river and that of source number 2. The guide value of the water temperature intended for human use according to the World Health Organization being 25°C temperature, but given that the study area is located in a tropical climate, this temperature is permitted as long as it is below 30°C. Other works published respectively in 2018 and 2020 present temperature values with an average of 20.24 and 22.49 °C [16,17].

The measured color values of the analyzed water types vary between 0.5 and 78.5 Units of the true color using cobalt II chlorides as standard solution (UPt /Co) (fig. 2b). The raw waters of the N'Djili River have the highest values well beyond the guideline value but the lowest value is that of the water from the second source. Treated water, spring water and borehole water have values lower than the standard which is 15 UPt /Co [11].

The results of the analysis of the permanganate index show values which vary between 0.4 and 12.4 mg/L while the lowest values are those of the first two samples of treated water while the highest are those of the raw waters of the N'Djili river. The results of water analyzed from the N'Djili River prove contamination in oxidizable organic and inorganic materials, the level of oxidizable materials is respectively 11.6, 7.2, and 12.4 mg/L while the threshold is 2 milligrams of carbon dioxide. Oxygen per liter (mgO_2/L). Some literature shows dissolved oxygen values varying between 3.97 and 4.98 mg/L in groundwater [18,19],

and the author *Bwira* in *2017* found the value average of oxidizable materials in water samples from the N'Djili River of 14.45 mg/L [6].

The hardness values of the treated water vary between 1.8 and 19 Hydrotimetric Title (THt). The groundwater has high values (respectively 8.4; 19 and 9 THt) and the lowest value is that of the water treated at source number 3. The hardness of the water analyzed is lower than the guide value or the value of reference which is 100 THt. *Nzomba* in *2023* showed in the results of his study an average hardness value of 12.4 for groundwater [14].

The phosphate values in the water analyzed do not exceed the standard which is 2 mg/L. The highest value is 0.094 mg/L (for river water) and the lowest is 0.025 mg/L (for spring water). The authors (*Emillie et al.*), in their study published in 2008, found phosphate values of 1.2 mg/L, which is pollution of cultivated land by wastewater [20].

The results of the water analysis show that the chloride values are between 22.72 and 92.3 mg/l. In comparison with the reference value which is 250 mg/L, we see that the water analyzed presents values lower than the standard. The concentrations of chlorides and phosphates in the water analyzed can be explained by the use of insecticides in agricultural areas, even if they do not exceed the reference values proposed by the *World Health Organization in 2016* [21].

In the waters analyzed, the nitrite values vary between 0.013 and 0.068 mg/L respectively for the first sample of water from the river and the first sample of water from the source. The World Health Organization and other literature show that the reference value is 0.2 mg/L, which indicates that the values of the waters analyzed in our study are lower than the reference standard [11].

The iron values in the water analyzed vary between 0.07 and 1.46 mg/L (fig. 2c) respectively for the first sample of spring water and the third sample of water from the N'Djili River. We note that the raw waters of the N'Djili River, the waters treated by REGIDESO and the drilling waters present values greater than or equal to those of the World Health Organization standard as well as for other authors (literature). Only spring waters show values lower than the reference value. The values measured for nitrates in the water analyzed vary between 5.5 and 426 mg/L (fig. 2d). Boreholes and springs have the highest values (borehole: 298 mg/L, first spring water sample: 426 mg/L and second spring water sample: 228.6 mg/L) well exceeding the guide value which is 50 mg/L and the lowest value is that of the third sample of treated water, i.e., 5.5 mg/L. Some literature shows nitrate values respectively of 35 mg/L for the average in groundwater, 80.09 and 97.58 mg/L for the maximums in the dry and rainy seasons [22,23].

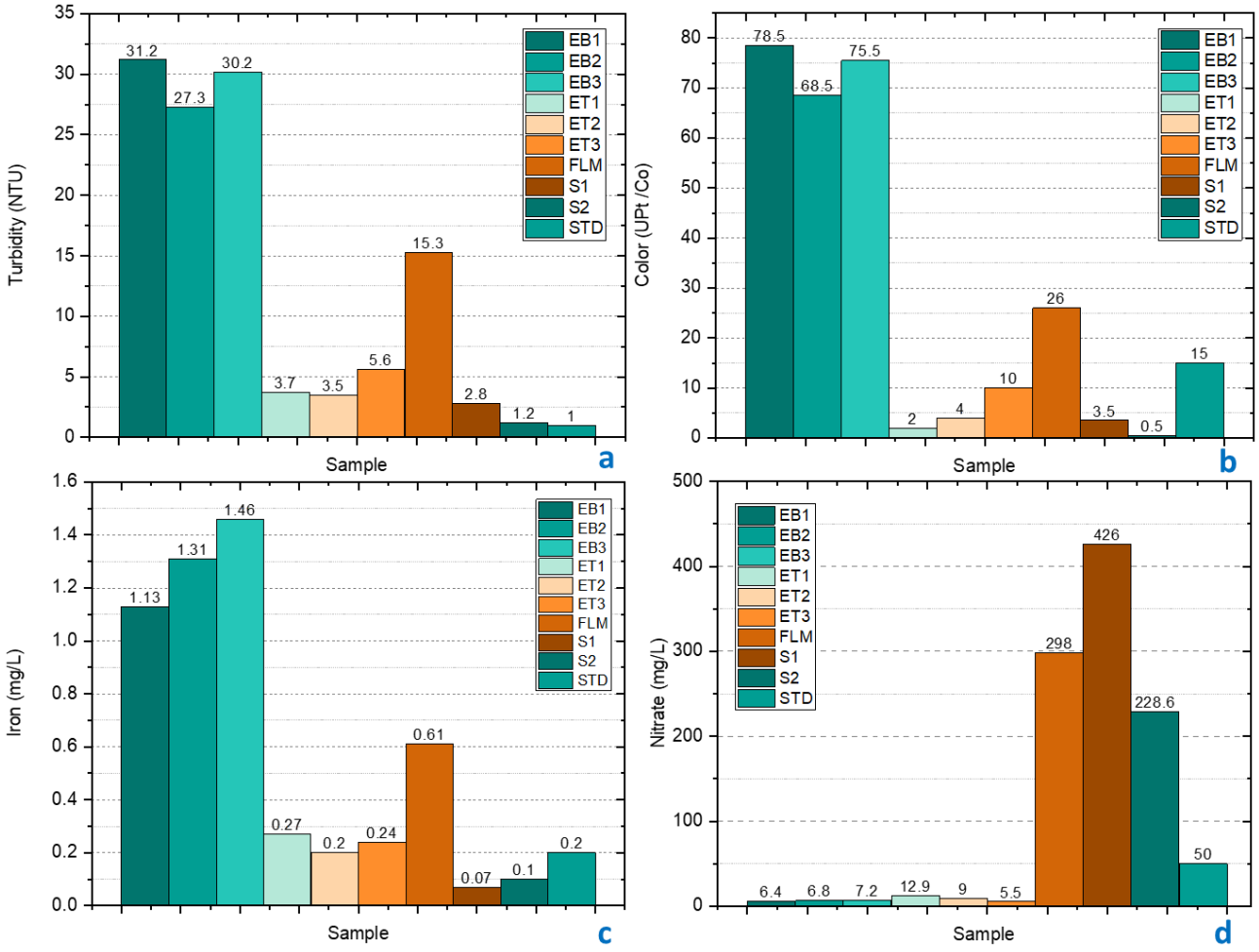


Fig. 2. ***Variation of element values in the analyzed samples. (a) Turbidity, (b) Color, (c) Iron and (d) Nitrate. STD symbolizes the value guiding the WHO and the European Union***

Fig. 3 presents the results concerning the bacteriological analyses, the samples were incubated for 24 hours and we note colonies which developed in the Petri dishes proving the presence of total and fecal coliforms in the raw water taken from the N' river. Djili and in the second spring water sample.

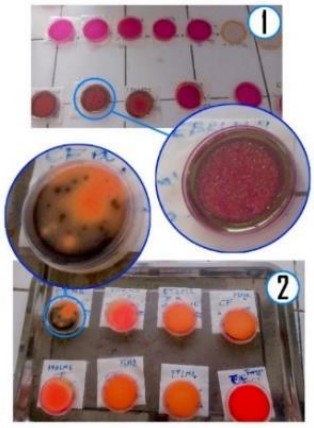


Fig. 3. ***Samples showing the petri dishes after incubation. We observe the development of colonies. (1): Total coliforms; (2): Fecal coliforms***

Table 2 presents the results of the bacteriological analyzes and the results show that there is pollution of the raw waters of the N'Djili river and that of the source. Total and fecal coliforms are indeterminate in the raw waters of the N'Djili River and Escherichia Coli analyzes revealed the presence of the latter. In the water sample from the source, 56 colonies of total coliforms were counted and one colony of fecal coliforms. Following these results, it should be noted that these coliforms come from water contaminated by the feces of warm-blooded animals. In the study area, during the investigations, we realized that these contaminants are generally produced directly by humans and indirectly by livestock activities (beef, pork, poultry, etc.) carried out in the environment. The presence of Escherichia coli constitutes indisputable proof of recent fecal contamination. This micro-organism should be completely absent from drinking water.

Table 2. Results of bacteriological analyzes

Samples	TC	FC	*Escherichia coli*
EBRLM1	Ind	Ind	P
EBRLM2	Ind	Ind	P
EBRLM3	Ind	Ind	P
ETLM1	0	0	A
ETLM2	0	0	A
ETLM3	0	0	A
FLM1	0	0	A
SLM1	0	0	A
SLM2	56	1	A

(TC: represents total coliforms, FC: fecal coliforms, Ind: indeterminate; the number of coliform colonies is so high that it becomes difficult to count them, A: absence of Escherichia coli and P: presence of Escherichia coli).

To analyze the correlation between the measured physical and chemical parameters, the results shown in **Fig. 4,** we used principal component analysis, which is one of the most frequently used multivariate data analysis methods. Since some parameters show the same pattern (conductivity and total dissolved solids), we will forgo the Bartlett spherical test and the Kaiser-Meyer-Olkin sampling precision measure.

	pH	Turb.	Cond.	T.D.S.	Temp.	Color	O.M.	Hardness	Phosphates	Chloride	Nitrites	Iron	Nitrates
pH	1.000												
Turb.	0.358	1.000											
Cond.	-0.851	-0.474	1.000										
T.D.S.	-0.857	-0.472	1.000	1.000									
Temp.	0.041	0.529	0.005	0.005	1.000								
Color	0.401	0.994	-0.476	-0.475	0.547	1.000							
O.M.	0.318	0.966	-0.384	-0.384	0.475	0.969	1.000						
Hardness	-0.584	-0.339	0.893	0.889	0.103	-0.333	-0.260	1.000					
Phosphates	0.058	0.595	-0.327	-0.322	0.300	0.554	0.563	-0.364	1.000				
Chloride	-0.662	-0.436	0.932	0.929	0.074	-0.410	-0.298	0.890	-0.500	1.000			
Nitrites	-0.144	-0.061	0.501	0.494	0.245	-0.056	-0.044	0.777	-0.167	0.523	1.000		
Iron	0.394	0.978	-0.517	-0.515	0.445	0.975	0.936	-0.401	0.676	-0.513	-0.106	1.000	
Nitrates	-0.796	-0.402	0.949	0.948	0.031	-0.424	-0.338	0.942	-0.246	0.854	0.665	-0.460	1.000

Fig. 4. Correlation or covariance matrix. The color range varies from red to blue. The color range going to red represents negative values while that going to blue represents positive values.

Thus, the analysis of the results shows that the correlation/covariance matrix corresponds to the data used for the calculations. This shows that nitrates have a strong correlation with nitrites, hardness, dissolved solids and conductivity while pH, turbidity, temperature, color, oxidizable, phosphates and iron have correlations.

The PCA correlation circle (Fig. 5a) presents the interpretation based on the angles separating either the variables from each other, or the variables with the dimensions of the PCA. Acute angles reflect a positive relationship between variables, right angles separate unrelated variables, and obtuse angles represent negative relationships. Thus, pH, temperature, oxidizable materials, color, iron, phosphates and turbidity are not linked to nitrates, nitrites, chlorides, hardness, conductivity and the rate of dissolved materials.

Following a Principal Component Analysis, it is possible to represent both observations and variables simultaneously in the factor space. The term biplot is reserved for simultaneous representations which respect the fact that the projection of observations onto the variable vectors must be representative of the input data for these same variables. In other words, the points projected onto the variable vector must respect the order and relative distances of the starting data corresponding to the same variable.

Fig. 5b presents the observations and makes it possible to evaluate the links between individuals and the links between individuals and variables.

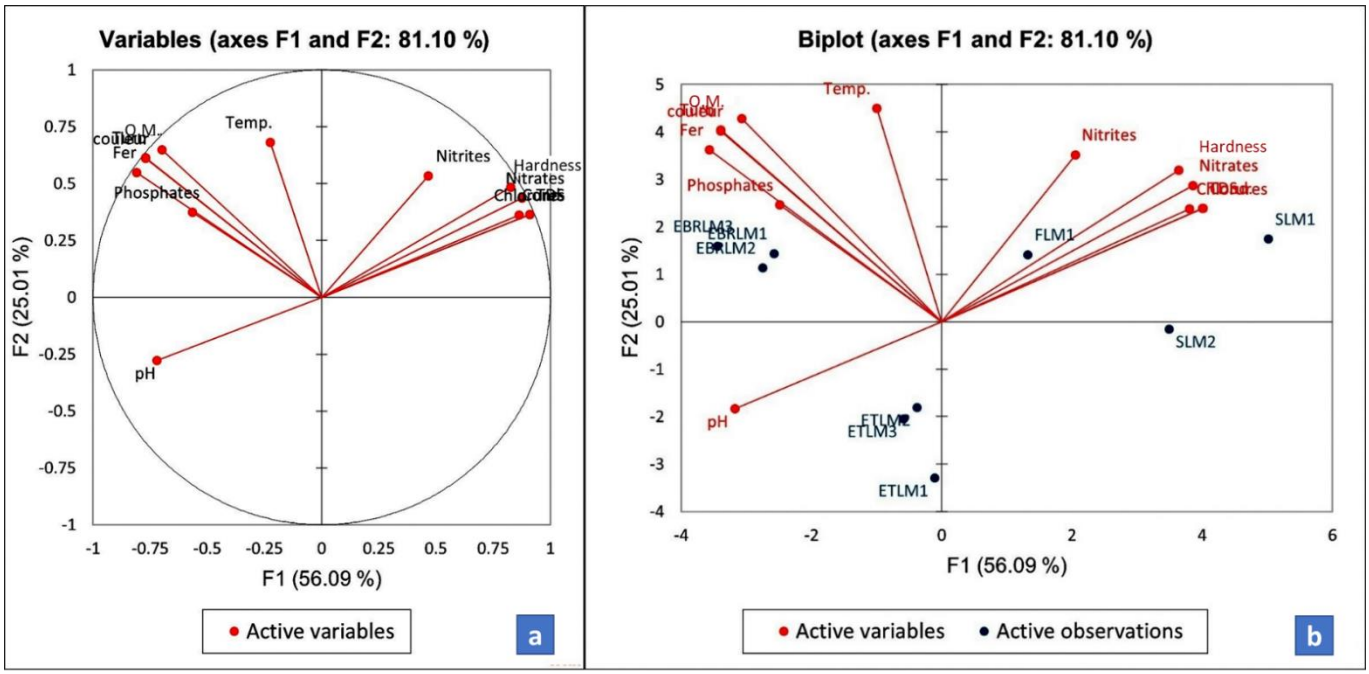


Fig. 5. Correlation circle of the physical and chemical parameters analyzed (a), Observation of individual-individual and individual-variable links (Biplot) (b).

Indeed, during the treatment of water, after injection of aluminum sulfate and filtration on the filter mass (quartz for the case of the N'Djili wastewater treatment plant), it is carried out during the disinfection phase. water an injection of calcium hypochlorite with the chemical formula Ca (ClO) 2 which eliminates pathogenic organisms present in the water. During preparation in water, this intake releases Cl2 which has a bactericidal effect (capacity to destroy germs at a given stage of treatment) and a residual effect (effect of the disinfectant which remains in the water, particularly in the distribution network, and which makes it possible to guarantee the bacteriological quality of the water up to the farthest consumer's tap, we speak of residual chlorine). The diagram presenting the interactions between river water, water treated by the Water Distribution Authority and groundwater is shown in Fig. 6.

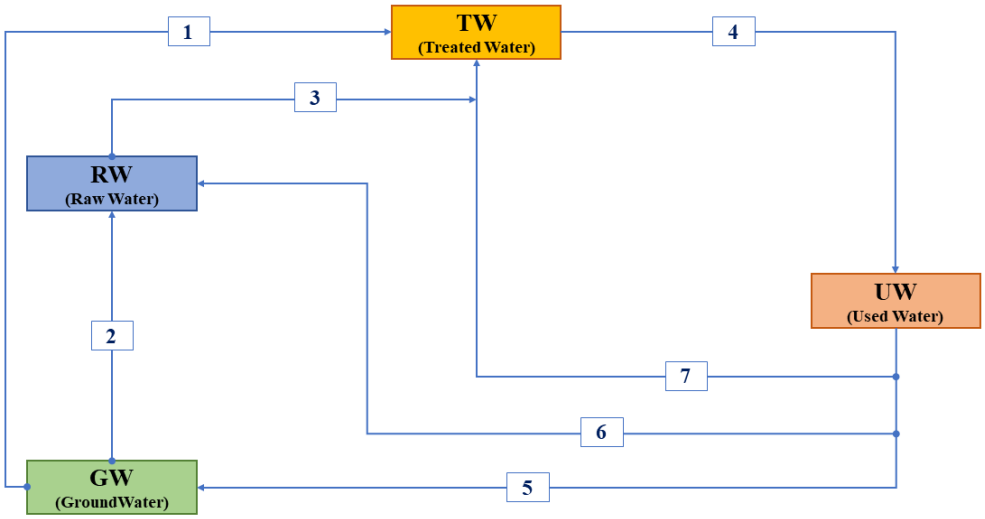


Fig. 6. Interaction diagram between different water qualities: Groundwater loaded with elements such as nitrates contaminates treated water through leaks in water distribution pipes intended for human consumption (1), groundwater flows and feeds the river at resurgence points (2), the raw water from the river is captured for treatment (3), the treated water is used by households and factories where it becomes loaded with certain elements and becomes wastewater (4), this uncanalized wastewater runs off and infiltrates into the ground contaminating the groundwater (5), the canalized and uncanalized wastewater is discharged into the river bringing in the elements which further contaminate it (6), the wastewater household and industrial contaminate treated water through leaks in distribution pipes (7).

4 CONCLUSION

This study focuses on the evaluation of interactions between raw water from the N'Djili River, groundwater and water treated by REGIDESO in Kinshasa. We know that groundwater contamination is caused by nitrogen, phosphorus and chlorine. Groundwater has very high nitrate levels, groundwater receives nitrate, phosphate and chlorides from agricultural areas where chemical inputs are used to increase agricultural productivity, and from domestic and industrial wastewater. The results of the bacteriological analyzes prove contamination and pollution of water by fecal matter confirmed by the presence of Escherichia Coli. REGIDESO must have an active team of plumbers for the repair of water distribution pipes whenever leaks are observed in areas where groundwater flows to the surface and thus make a water safety plan intended for human consumption.

DECLARATIONS

ETHICS APPROVAL

This study protocol was approved by the ethics committee of the Medical Research Circle research department. An official letter of cooperation was written to the management of the Kinshasa Water Distribution Administration.

CONSENT FOR PUBLICATION

Not applicable.

AVAILABILITY OF DATA AND MATERIALS

Not applicable.

COMPETING INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interest.

FUNDING

The authors did not receive financial support for this work.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception: Innocent MUFUNGIZI, ***Design:*** Aymar AKILIMALI, ***Project administration;*** Innocent MUFUNGIZI, ***Supervisor:*** Ruben LOOLA, ***Funding acquisition;*** Aymar AKILIMALI, ***Investigation;*** Innocent MUFUNGIZI and Ruben LOOLA, ***Resources;*** Innocent MUFUNGIZI and Ruben LOOLA, ***Validation;*** Koy KASONGO and Aymar AKILIMALI, ***Visualization;*** Innocent MUFUNGIZI, ***Literature search:*** All authors, ***Collection and assembly of data:*** Innocent MUFUNGIZI, ***Data analysis and interpretation:*** Innocent MUFUNGIZI, Ruben LOOLA and Aymar AKILIMALI, ***Software;*** Innocent MUFUNGIZI, ***Manuscript preparation:*** All authors, ***Manuscript editing:*** All authors, ***Manuscript review:*** All authors, ***Final approval of manuscript***: All Authors.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the teams from the Groundwater Division, N'Djili Catchment and the REGIDESO Kinshasa Central Laboratory for giving us access to the laboratories for our analyses. We also thank the team of researchers from the LeGeolog Research Team in Kinshasa in DR Congo as well as the STAFF of the research department of the Medical Research Circle in DR Congo.

REFERENCES

[1] Ahmed Kettab, Ratiba Mitiche and Naoual Bennaçar, 2008. Water for sustainable development: issues and strategies, Revue des sciences de l'eau, DOI: https://doi.org/10.7202/018469ar.

[2] Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P. & Tricard D., 2003. Water quality, 37pgs.

[3] Directorate of Drinking Water and Groundwater-Québec, 2021. Interpretation guide to the Regulation respecting the quality of drinking water.
Available at: https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/reglement/guide_interpretation_RQEP.pdf

[4] Kasongo, M., 2002. Systematic study of the N'djili watershed in Kinshasa, Thesis, Post-graduate regional school of planning and integrated management oftropical forests and territories, 228pgs.

[5] African Water Facility, 2015. Providing drinking water and sanitation services in Kinshasa. Available at: https://www.africanwaterfacility.org/fr/projects/fournir-des-services deau-potable-et-dassainissement-à kinshasa#: ~: text=La%20production%20d%27eau%20potable, zone%20couverte%20par%20 a%20REGIDESO.

[6] Bwira JP. E., 2017. Vulnerability analysis of the waters of the N'djili river, Master's thesis, Paul Sabatier-Toulouse University III, pg. 107.

[7] P. Döll, H. Hoffmann-Dobrev, F.T. Portmanna, S. Siebert, A. Eicker, M. Rodell, G. Strassberg, B.R. Scanlon, 2012. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. Journal of Geodynamics 59–60: 143-156 DOI: 10.1016/j.jog.2011.05.001

[8] S. Siebert, J. Burke, J. M. Faures, K. Frenken, J. Hoogeveen, P. D.

[9] Margat, J.; van der Gun, J., 2013. Groundwater around the World: A Geographic Synopsis; CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA; ISBN 978-1-138-00034-6. *(1) (PDF) Coupled Geophysical and Hydrogeochemical Characterization of a Coastal Aquifer as Tool for a More Efficient Management (Torredembarra, Spain).*

[10] Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Elyazar IR, Teng HJ, Brady OJ, Messina JP, Pigott DM, Scott TW, Smith DL, Wint GR, Golding N, Hay SI., 2015. The global distribution of the arbovirus vectors Aedes aegypti and Ae. albopictus. Elife. doi: 10.7554/eLife.08347.

[11] WHO, 2017. Drinking Water Quality Guidelines, Fourth Edition. Available at: https://www.who.int/fr/publications-detail/9789241549950.

[12] DIRECTIVE (EU) 2020/2184 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption.
Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX: 32020L2184.

[13] Kader G., 2022. Drinking water treatment 4, Membranes applied to drinking water and desilting, Ecology-Environment Collection.

[14] D. NZOMBA, 2023. Hydrogeochemistry and contamination of groundwater in the urban part of the N'djili watershed in Kinshasa. *Afrique* SCIENCE *22 (4) (2023) 30 – 46.*

[15] Chouafa N. & Munjovo G. M., 2022 Analysis of the quality of drinking water distributed in Guelma, University May 8, 1945. Available at: https://dspace.univ-guelma.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/13048/CHOUAFA_NESRINE_F1.pdf ?sequence=1&isAllowed=y.

[16] Abdelghani T., Abdellah El H., Hajar J., Habiba O., Imad M., 2020. Calculation of the Water Quality Index (WQI) for the evaluation of the physico-chemical quality of surface waters of Oued Moulouya (NE, Maroc). European Scientific Journal January 2020 edition Vol.16, No.2 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
URL: http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n2p64.

[17] Charles Vital S. N., Robert N. & Martin B. N., 2018. Qualité de l'eau de la localité de Dschang et impact sur la santé des consommateurs, Afrique SCIENCE 14 (3) (2018) 96 – 107.

[18] Scientific Council for the Environment of Brittany, 2005. Technical & Scientific Sheets For understanding watersheds and monitoring water quality.
Available at: https://www.creseb.fr/voy_content/uploads/2021/04/Recueil-Fiches_FamilleB_MatOrg_CSEB2005.pdf

[19] Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D. & El Moustaine, R. (2013). Study of the physicochemical and bacteriological quality of the Plio-Quaternary aquifer in the region of Meknès (Maroc), 16p.

[20] Emilie L., José M., Santa E. S., 2008. Phosphate pollution problems in irrigation water in areas downstream of oases: the case of the fourth irrigated agricultural zone of the Rio Mendoza oasis, Argentina. XIII° World Water Congress de l'IWRA (International Water resource Association). Montpellier, 01-04 Septembre 2008, Sep 2008, Montpellier, France. ffhalshs-00394079ff. Available at: https://shs.hal.science/halshs-00394079/.

[21] WHO, 2016. Protecting surface water for health. Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments, WHO Library Cataloguing in-Publication Data, p.196.

[22] D. Merzoug, A. Khiari, A. Aït Boughrous, C. Boutin, 2010. Aquatic fauna and water quality from wells and springs in the region of Oum-El-Bouaghi (North-East of Algeria). Hydroécol. Appl. (2010) Tome 17, pp. 77–97.
DOI: 10.1051/hydro/2010001.

[23] Kassim C., 2005. Study of the Physico-Chemical and Bacteriological Quality of Well Water in Certain Neighborhoods of the District of Bamako, Thesis, DEBAMAKO UNIVERSITY.
Available at: https://bibliosante.ml/bitstream/handle/123456789/6848/05P50.pdf?sequence=1.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 957-971
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Une méthode de détection de changements amont et aval pour le suivi des superficies agricoles irriguées de la région de la Haute-Comoé, au Burkina Faso

[A backward and forward change detection method for monitoring irrigated areas in the Haute-Comoé region, Burkina Faso]

Farid Traoré[1], Sié Palé[2], Aïda Zaré[2], Joachim Bonkoungou[1], Jérôme Compaoré[1], Kibissi Paré[3], Rodrigue Walbeogo[4], and BVC Adolphe Zangré[3]

[1]Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP 8645 Ouagadougou 04, Burkina Faso

[2]Université de Dédougou, Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, BP 176 Dédougou, Burkina Faso

[3]DGADI, 03 BP 7123, Ouagadougou 03, Burkina Faso

[4]SERAT, 01 BP 1466, Ouagadougou C.N.T 01, Burkina Faso

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Haute-Comoé watershed in southwest Burkina Faso is characterized by water resources used for irrigated agriculture, among other things. The water resources of the Haute-Comoé watershed consist mainly of the waters of the Comoé River and its tributaries. Over time, pressure on the basin's water resources has increased due to the expansion of irrigated agricultural areas. With a view to preventing conflicts over the use of water resources, this study was carried out to examine the evolution, over nearly 40 years, of irrigated agricultural areas within market gardening areas. Market gardening is one of the fastest-growing components of irrigated agriculture, particularly since the promotion of small-scale private irrigation launched by the Burkina Faso government in the early 2000s. To achieve the study's objective, a method based on the processing of a series of satellite images was adopted. The method used consists in classifying a series of images acquired on anniversary dates, but consecutively 7 to 15 years apart (1986, 2001, 2015 and 2023). On the basis of agronomic expertise, a post-classification phase, based on an analysis of the temporal trajectory of classified pixels, was carried out in order to correct certain unlikely pixel trajectories. Results were evaluated by measuring overall accuracy and the Kappa coefficient. Overall accuracies ranged from 72.57% to 81.90% (for the classification phase) and from 88.25% to 92.50% (for the post-classification phase). At the end of the image post-classification phase, a change detection analysis, i.e. a measurement of the intensity of change (spatial variations) within the classes considered, was carried out, making it possible to assess changes in terrain over time, and to identify categories and levels of transition between classes. The study showed that irrigated areas increased by 25% between 1986 and 2023 in the study area.

KEYWORDS: Irrigation, land use/occupancy, change detection analysis, intensity analysis, Landsat, water management.

RESUME: Le bassin versant de la Haute-Comoé situé dans le sud-ouest du Burkina Faso, est caractérisé par des ressources en eau utilisées entre autres pour l'agriculture irriguée. Les ressources en eau de ce bassin de la Haute-Comoé se composent essentiellement des eaux de la rivière Comoé et ses affluents. Au fil du temps, la pression sur les ressources en eau du bassin s'est accrue du fait de l'expansion des superficies agricoles irriguées. Dans une perspective de prévention des conflits autour de l'utilisation de la ressource eau, cette étude a été menée afin d'examiner l'évolution, sur près de 40 ans, des superficies agricoles irriguées au sein des zones de production maraîchère. La production maraîchère est l'une des composantes de l'agriculture irriguée qui a connu la plus grande croissance, notamment depuis la promotion de la petite irrigation privée, lancée

Corresponding Author: Farid Traoré

par le gouvernement du Burkina Faso au début des années 2000. Pour atteindre l'objectif de l'étude, une méthode basée sur le traitement d'une série d'images satellites a été adoptée. La méthode utilisée consiste en une classification de série d'images acquises à des dates anniversaires, mais consécutivement éloignées l'une de l'autre de 7 à 15 ans (1986, 2001, 2015 et 2023). Sur la base d'une expertise agronomique, une phase de post-classification s'appuyant sur une analyse de la trajectoire temporelle des pixels classifiés, a été effectuée afin de corriger certaines trajectoires improbables de pixels. L'évaluation des résultats s'est faite, entre autres, par la mesure de la précision globale et du coefficient Kappa. Les précisions globales sont comprises entre 72,57 % et 81,90 % (pour la phase de classification) et entre 88,25 % et 92,50 % (pour la phase de post-classification). À l'issue de la post-classification des images, une analyse de détection de changements, c'est-à-dire une mesure de l'intensité des changements (variations spatiales) au sein des classes considérées a été réalisée, permettant d'évaluer les changements de terrain au fil du temps, et d'identifier les catégories et niveaux de transition entre les classes. L'étude a montré que les superficies agricoles irriguées ont augmenté de 25 % entre 1986 et 2023 dans la zone d'étude.

MOTS-CLEFS: Irrigation, utilisation/occupation des terres, analyse de détection de changement, analyse d'intensité, Landsat, Gestion de l'eau.

1 INTRODUCTION

Le secteur agricole est un des piliers de l'économie du Burkina Faso. En effet, il concourt à 30 % environ au produit intérieur brut et occupe 63 % de la main d'œuvre active selon le dernier recensement général de la population et de l'habitation en 2019 (INSD, 2022). Pays sahélien, le développement du secteur agricole est confronté à la raréfaction de la ressource en eau qui est de plus en plus exacerbée par les changements climatiques et la pression démographique (Servat and Mahé, 2009; Yaméogo et al., 2023). Pour favoriser la croissance économique et l'autosuffisance alimentaire, le Burkina Faso s'investit depuis de nombreuses années à la promotion de l'agriculture irriguée à travers les aménagements hydro-agricoles (Nébié, 1993; Venot et al., 2012). L'irrigation permet de sécuriser la production agricole en réduisant la vulnérabilité du secteur agricole face aux aléas climatiques. Cependant le sous-secteur de l'irrigation fait face à de nombreuses contraintes, notamment les problèmes de gestion des infrastructures et d'eau d'irrigation (Turral et al., 2010; Kambou, 2019). Ces difficultés de gestion conjuguées à l'extension anarchique des superficies irriguées posent un problème de planification, de satisfaction en eau agricole et de durabilité des aménagements hydro-agricoles. La connaissance de l'évolution des superficies agricoles irriguées est nécessaire pour anticiper la mobilisation des ressources en eau agricole, adapter la gestion de l'existant ou orienter la politique de développement de l'agriculture irriguée de l'État. Si de telles connaissances sont disponibles pour le bassin du Kou (Traoré et al., 2013) et pour la zone agricole irriguée de Mogtedo (Traoré et al., 2019; Traoré et al., 2023), il n'en est pas le cas pour le bassin versant de la Haute-Comoé. Il s'avère donc nécessaire de disposer de connaissances précises sur la variation de ces surfaces de terres irriguées pour une meilleure planification et une gestion efficiente de l'eau agricole. Cette étude se situait dans ce contexte. Elle visait à analyser l'évolution des superficies agricoles irriguées dans le bassin versant de la Haute Comoé au sud-ouest du Burkina Faso à l'aide de la méthode de détection de changements amont et aval.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est située dans la Haute-Comoé, qui est un sous bassin versant de la partie burkinabè du bassin du fleuve Comoé. La moyenne de la pluviométrie annuelle sur la période 1971-2011 à la station de Bérégadougou était de 1032 mm, avec des décennales sèches de moins de 800 mm, et des décennales humides de plus de 1400 mm, à la station de Banfora (VREO, 2010). Des variations importantes de la pluviométrie sont enregistrées d'une année à l'autre, en particulier, une tendance à la baisse de la pluviométrie et du nombre annuel de jours de pluie a été observée à la station de Banfora au cours de cette période. La zone d'étude se compose de plusieurs cours d'eau temporaires, dont un seul pérenne à savoir, la Comoé. Les cours d'eau Comoé et ses affluents Yannon et Lobi sont régulés par trois réservoirs qui fournissent de l'eau pour l'irrigation avec maîtrise totale ou partielle de l'eau ainsi que pour l'usage domestique, industriel et les besoins écologiques. En campagne sèche, les ressources en eau de surface du sous-bassin versant sont essentiellement constituées par les eaux stockées par les trois réservoirs dont les principales caractéristiques sont: Lobi (capacité initiale de stockage en 1976, 6 millions $m^{3,}$ superficie drainée 120 km^2), Toussiana (capacité initiale en 1982, 6 millions de $m^{3,}$ surface drainée 130 km^2), Moussodougou (capacité initiale de stockage en 1991, 38,5 $m^{3,}$ superficie drainée 560 km^2) (Figure 1).

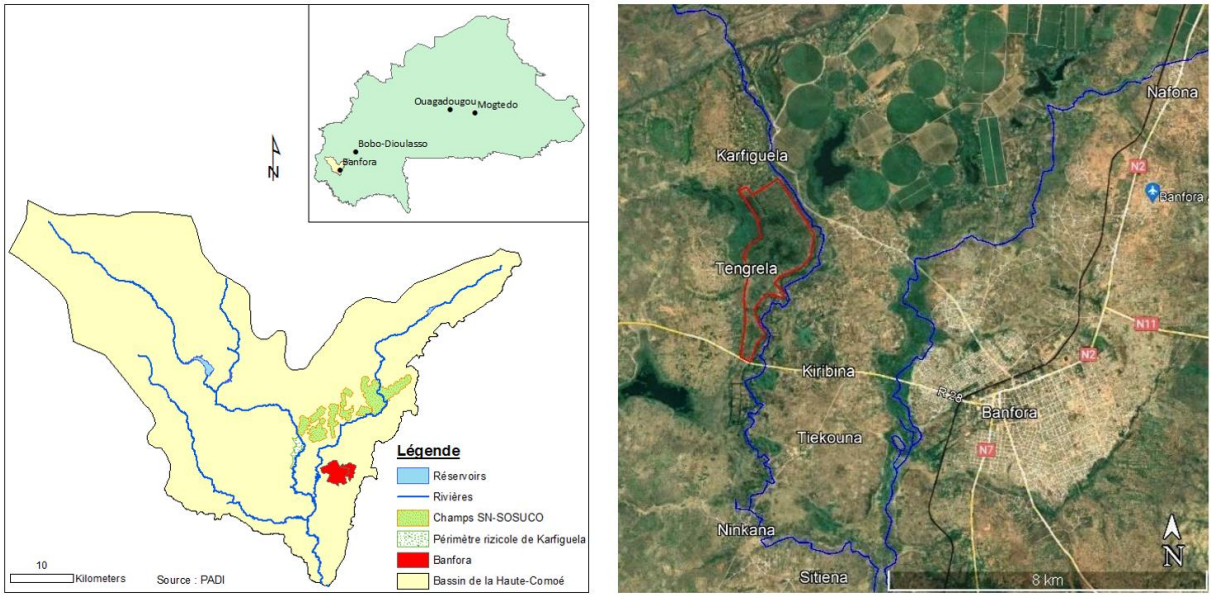


Fig. 1. Carte de la localisation du bassin versant de la Haute-Comoé (A); vue satellitaire de la zone d'étude (Adapté de Google (2022)) (B).

L'eau de surface destinée à l'agriculture de saison sèche, ne satisfait pas toujours les besoins de l'ensemble des demandeurs dans le périmètre aménagé rizicole de Karfiguela, dans le complexe sucrier de la Comoé et chez les producteurs maraîchers installés le long des berges des cours d'eau (Palé et al., 2019; Palé et al., 2021).

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel utilisé au cours de cette étude est composé essentiellement de l'imagerie satellitaire et des logiciels de traitement d'image, de systèmes d'information géographique et des données auxiliaires de terrain (questionnaires).

L'imagerie utilisée, de type haute résolution, est principalement composée d'images Landsat (Tableau 1) dont la résolution spatiale de base de 30 m, peut être exploitée pour le suivi de l'agriculture et de l'occupation du sol (Bastiaanssen et al., 2000). Toutefois, pour des entités (parcelles de culture, par exemple) de moins de 30 m, les images Landsat ne permettent plus une bonne distinction, ce qui a tendance à créer des pixels de classe mixte.

Tableau 1. Caractéristiques des images satellites utilisées.

Images	Date d'acquisition	Path	Row	Résolution spatiale (m)
Landsat-5 TM	1er février 1986	197	53	30
Landsat-7 ETM+	02 février 2001	197	53	30
Landsat-8 OLI	16 janvier 2015	197	53	30
Landsat-8 OLI	22 janvier 2023	197	53	30

Les images Landsat proviennent du site web de l'USGS. Elles ont toutes été acquises gratuitement. L'outil Google Earth (Figure 2) a été particulièrement utile dans le cadre de l'échantillonnage des zones d'entraînement et dans la vérification des classes des pixels, après classification. L'analyse de ces images a été effectuée à l'aide de logiciels suivants: NV5 Geospatial Solutions ENVI, ESRI ArcGIS Desktop, et R.

La méthodologie adoptée consiste en la classification et en la superposition des images satellites acquises de la zone d'étude, à des périodes différentes, distantes les unes des autres d'au moins 8 ans. Les classes considérées résultent d'une combinaison entre la couverture du sol et l'utilisation du sol (en anglais, "*Land use and land cover*", LULC). Une photo-interprétation des images brutes, combinée à des visites de terrain, ont permis de définir d'une manière assez exhaustive les classes à prendre en compte. Ainsi, à l'issue de la classification initiale des images, les classes les plus proches (représentant des milieux physiques semblables et qui présentent d'importants chevauchements) ont été fusionnées. Une phase de post-

classification a été ensuite mise en œuvre pour corriger les trajectoires improbables de certains pixels au cours du temps (Traoré et al., 2019). Cette phase de post-classification a inclus une analyse spatiale permettant une meilleure redéfinition des pixels appartenant à la classe particulière des zones agricoles irriguées. Enfin, Les images post-classifiées sont superposées dans le cadre d'une analyse de détection et de mesure de changements. Afin d'évaluer la qualité des classifications, les précisions globales, de production, d'utilisation et les coefficients Kappa ont été calculés. La figure ci-dessous illustre les grandes lignes de la méthodologie adoptée, inspirée de Traoré et al. (2013) et Traoré et al. (2019).

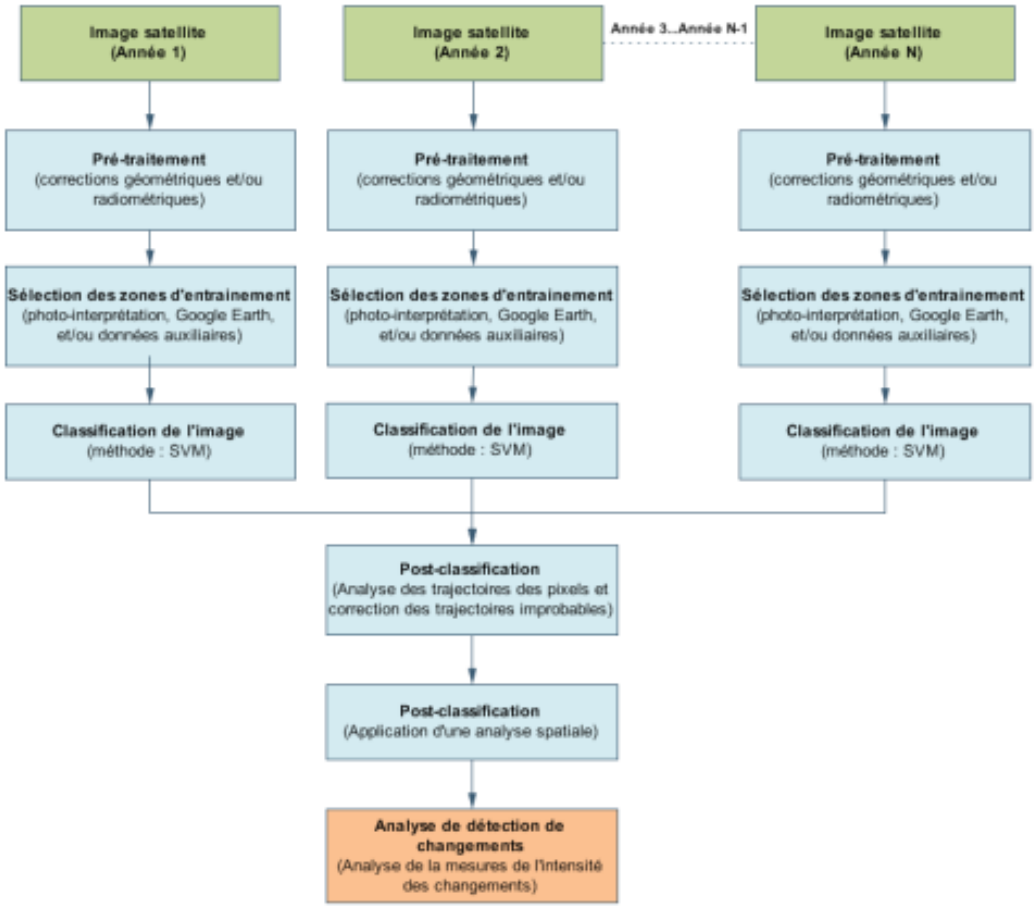


Fig. 2. Méthodologie de traitement des images satellites

3.1 CORRECTION D'IMAGES

L'utilisation d'images issues de plusieurs capteurs différents (Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI), commande que certains prétraitements soient appliqués au set d'images. Des corrections radiométriques ont été effectuées dans la mesure où les valeurs des pixels des images devaient être converties en réflectances au-dessus de l'atmosphère (en anglais, "*top-of-atmosphere",* TOA), afin d'atténuer les effets atmosphériques et permettre des analyses temporelles. En effet, selon Mas (1999), si des images doivent être utilisées pour une analyse quantitative basée sur l'information radiométrique, comme dans le cas de l'analyse multi-date pour les changements de surface détectés, ces images devraient être ajustées pour compenser la divergence radiométrique. Les conversions des valeurs digitales des images en réflectances, se sont faites sur la base d'informations fournies par Chander and Markham (2003) et Chander et al. (2009).

3.2 SÉLECTION DES AIRES D'ENTRAÎNEMENT

Sur chacune des images à classifier, des zones d'entraînement ont été échantillonnées en relation avec les différentes classes identifiées. La sélection des zones d'entraînement a été plus confortable sur les images les plus récentes du fait du recours possible à Google Earth pour l'assistance à l'échantillonnage et sur la base d'une interprétation visuelle assistée par

quelques données auxiliaires telles que des réponses à un questionnaire sur l'occupation du sol, administré à des résidents installés de longue date sur la zone d'étude. Les classes d'occupation et d'utilisation du sol initialement retenues, ainsi que le nombre de pixels échantillonnés pour chacune des quatre images, sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Nombre de pixels échantillonnés par classes et par images.

Classes	Landsat-8 OLI 2023	Landsat-8 OLI 2015	Landsat-7 ETM+ 2001	Landsat-5 TM 1986
Zones arboricoles	307	307	288	71
Zones de végétation herbacée et arbustive	497	534	495	504
Zones d'agriculture irriguée	840	594	538	428
Zones inondées	294	487	375	242
Zones d'agriculture pluviale	295	297	267	242
Plans d'eau	65	41	69	66

Une étude de séparabilité des classes par l'indice de Jeffries-Matusita (Richards and Jia, 2006), a montré une faible séparabilité des échantillons des classes de végétation entre elles. Par contre, la classe des plans d'eau est bien séparée de toutes les autres classes.

3.3 CLASSIFICATION AVEC L'ALGORITHME "SUPPORT VECTOR MACHINE"

La méthode de classification par l'algorithme "S*upport vector machine*" (SVM) a été retenue pour cette étude. Les SVM sont une méthode statistique supervisée d'apprentissage non-paramétrique, ce qui implique qu'aucune hypothèse n'est faite sur la distribution statistique des données (Mountrakis et al., 2011). Ceci est particulièrement intéressant pour les applications en télédétection, dans la mesure où les données acquises ont habituellement des distributions qui ne sont pas normales et donc, ne conviennent pas directement à l'utilisation des algorithmes de classification comme le maximum de vraisemblance (*maximum likelihood classification, MLC*) qui requiert des distributions gaussiennes (Mountrakis et al., 2011). Les SVM présentent un grand intérêt en télédétection en raison de leur capacité à gérer avec succès de petits échantillons de données, et ce en produisant des résultats de classification de meilleure précision que les méthodes dites "traditionnelles" (Mantero et al., 2005).

3.4 ÉVALUATION DES CLASSIFICATIONS

L'évaluation des classifications a été déterminée par la précision globale (pourcentage) et les coefficients Kappa de la matrice d'erreur (Landis and Koch, 1977; Banko, 1998; Foody, 2002; Streiner and Norman, 2003; Congalton and Green, 2009), la précision du producteur et la précision de l'utilisateur. La technique de vérification choisie a utilisé les données de vérité de terrain collectées. Les pixels sélectionnés par l'interprétation visuelle ont été confirmés par des informations fournies par les agriculteurs et populations autochtones des zones étudiées.

3.5 POST-CLASSIFICATION

Après la classification des images initiales, une phase de post-classification a consisté en une fusion des classes semblables. Il s'agit essentiellement de la classe des zones inondées et celle des plans d'eau. Bien que la classe des plans d'eau se distingue très bien des autres classes, elle a été ajoutée à celle des zones inondées, qui présentent souvent un mélange d'eau et de végétation.

La fusion des classes a été suivie d'une analyse de trajectoire des pixels classifiées de l'ensemble des quatre images. L'analyse de trajectoire des pixels a permis de détecter les trajectoires qu'il serait peu probable d'observer dans la réalité des zones étudiées. Certaines de ces trajectoires estimées semblaient incompatibles, allant à l'encontre des tendances observées dans la réalité. Par exemple, dans la zone d'étude, en raison de la forte intensification de l'agriculture, il est rare de voir une transition de terres cultivées vers de la prairie ou de la végétation naturelle. Par conséquent, afin d'harmoniser les résultats de la classification avec les tendances d'utilisation des terres observés sur le terrain, quelques règles simples pour la correction de trajectoire de pixels ont été définies.

Pour un pixel classifié donné, l'appartenance à une classe donnée (à savoir la couverture/utilisation du sol sur ce pixel) est contrôlée par ses classes d'appartenances consécutives, au cours du temps. Les règles de contrôle sont fondées sur les tendances dans la chronologie de l'utilisation des terres, observée dans la zone d'étude. Les scripts pour les corrections de trajectoire de pixels telles que définies ici ont été faits dans un environnement de programmation prenant en charge les opérations sur des tableaux ou des matrices (R, dans notre cas).

Malgré l'application de l'analyse et de la correction des trajectoires des pixels, il arrive qu'on observe la persistance de pixels mal classées. C'est notamment le cas des pixels de la classe d'agriculture irriguée, qui ont tendance à se confondre avec ceux de la végétation herbacée. L'intérêt de l'étude portant spécifiquement sur le suivi des zones agricoles irriguées, une dernière étape de post-classification a consisté alors à reclasser en une autre classe, tout pixel d'agriculture irriguée situé au-delà d'une enveloppe de 1 km de part et d'autre de la rivière Comoé, le seul cours d'eau pérenne de la zone d'étude (ce cours d'eau est situé à gauche de la Figure 1.b). Cette règle ne s'applique pas à ses affluents qui ne sont pas pérennes et ne peuvent servir de source d'approvisionnement en eau d'irrigation pour la période concernée par notre étude (janvier-février). Les pixels des zones d'irrigation en dehors des zones tampon (1 km de part et d'autre de la rivière Comoé) sont alors reclassés en d'autres classes sur la base de la connaissance du terrain et d'une analyse contextuelle de ces pixels.

Une fois que les trajectoires de pixels sont corrigées, et que les pixels ont été reclassés, les images sont évaluées à nouveau, sur la base de la précision globale, la précision du producteur, la précision de l'utilisateur et du coefficient Kappa. Les aires d'entraînement utilisées pour ces évaluations de post-classement sont les mêmes que celles utilisées pour les évaluations de classification initiale.

La procédure de post-classification décrite ci-dessus a été appliquée à chacune des quatre images sur la base de l'hypothèse d'une évolution faible au cours du temps, des "zones inondées", dans la mesure où l'évolution de ces zones relève surtout de la géomorphologie.

3.6 ANALYSE DE DÉTECTION DE CHANGEMENT

Une analyse d'intensité a été réalisée pour évaluer les changements au sein des classes d'occupation/utilisation du sol entre 1986, 2001, 2015 et 2023. Cette méthode a été largement utilisée pour comprendre les changements au sein des classes (à l'image de Pontius et al., 2013; Zhou et al., 2014; Koglo et al., 2019; Traoré et al., 2019). Nous avons utilisé l'approche proposée par Aldwaik and Pontius (2012) qui peut déterminer si la structure d'une classe d'occupation/utilisation du sol est stable au fil des intervalles de temps en termes d'intensité des gains et des pertes. Les lecteurs peuvent se référer à Aldwaik and Pontius (2012) et Koglo et al. (2019) pour une description complète de la méthode.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 ÉVALUATION DES PRÉCISIONS DES CLASSIFICATIONS AVANT LES CORRECTIONS DE TRAJECTOIRE DES PIXELS

L'objectif de la présente étude était de suivre l'évolution des zones irriguées de la zone d'étude entre 1986 et 2023. Ainsi des images prises à des dates anniversaires, en 1986, en 2001, en 2015 et en 2023, ont subi les traitements indiqués dans la méthodologie de l'étude. Les traitements effectués sur les images, ont effectivement permis de suivre l'évolution des unités d'occupation du sol rencontrées dans la zone d'étude.

Bien que selon les critères d'appréciation (Kappa, précision globale), les résultats des quatre classifications soient bons (voir Tableau 3), il s'avère que dans le détail des précisions pour chacune des classes (voir Tableau 4), certaines présentent entre elles des confusions assez importantes. Ces confusions sont plus marquées sur le résultat de la classification de l'image de 1986, en raison d'un échantillonnage relativement moins précis des classes du fait d'une insuffisance d'informations auxiliaires (enquêtes, inventaires, témoignages d'autochtones, etc.) qui auraient pu permettre de confirmer ou infirmer les choix effectués. Les confusions entre les classes se rencontrent aussi sur les autres images classifiées, mais elles sont moins marquées sur les images plus récentes (image de 2015, par exemple). Il est à remarquer par exemple que le classificateur n'ait pas été performant dans la distinction des pixels de la classe liée à l'arboriculture. Cela s'explique par le fait qu'il était difficile, pour une taille de pixel de Landsat (30 m) de distinguer avec une faible marge d'erreur, des arbres isolés ou de petites formations arboricoles dont la taille est inférieure à celle d'un pixel.

L'importance des confusions entre les classes croît avec l'augmentation du recul dans le temps de l'échantillonnage. Ainsi, cela montre les limites de la méthode utilisée, dans la mesure où, plus le recul dans le temps est important, plus la probabilité

d'erreur dans l'échantillonnage est grande. Cet état de fait est également remarquable à travers les coefficients Kappa et les précisions globales.

Tableau 3. Évaluation des résultats de la classification initiale

Images	Précision globale (%)	Kappa	Évaluation (*)
Landsat-5 TM, 1er fév. 1986	72,57	0,64	Bonne
Landsat-7 ETM+, 02 fév. 2001	75,10	0,69	Bonne
Landsat-8 OLI, 16 jan. 2015	81,90	0,77	Bonne
Landsat-8 OLI, 22 jan. 2023	78,15	0,72	Bonne

(*) Selon les critères de Landis and Koch (1977) et Streiner and Norman (2003)

Tableau 4. Précisions des classifications (exprimées en %) avant correction de trajectoires des pixels pour chacune des classes considérées

	Arboriculture	Zones inondées	Agriculture irriguée	Agriculture pluviale	Arbustes et herbacés	Plans d'eau	User Accuracy	Prod. Accuracy
Landsat 5 TM 1986								
Arboriculture	**29,58**	0,41	0	0	0	0	95,45	29,58
Zones inondées	0	**52,89**	3,97	8,75	7,04	0	63,37	52,89
Agriculture irriguée	30,99	26,45	**82,71**	5,7	12,42	0	68,74	82,71
Agriculture pluviale	14,08	9,5	7,24	**77,19**	4,76	0	70	77,19
Arbustes et herbacés	25,35	10,74	6,07	8,37	**75,36**	13,64	78,28	75,36
Plans d'eau	0	0	0	0	0,41	**86,36**	96,61	86,36
Landsat 7 ETM+ 2001								
Arboriculture	**86,46**	1,07	2,23	0	3,29	0	88,61	86,46
Zones inondées	1,39	**43,73**	11,15	0,36	4,94	0	64,82	43,73
Agriculture irriguée	2,43	40,27	**77,88**	3,62	15,23	0	63,39	77,88
Agriculture pluviale	2,08	1,6	0,56	**94,2**	1,03	0	92,86	94,2
Arbustes et herbacés	7,64	13,33	8,18	1,81	**75,1**	0	75,1	75,1
Plans d'eau	0	0	0	0,41	0	**100**	97,18	100
Landsat 8 OLI 2015								
Arboriculture	**78,83**	3,7	3,7	0	5,33	0	78,06	78,83
Zones inondées	10,75	**77,21**	10,27	3,92	6,48	0	72,87	77,21
Agriculture irriguée	8,79	6,37	**80,3**	4,25	4,38	0	83,54	80,3
Agriculture pluviale	0,98	2,46	1,35	**91,5**	0,76	0	91,21	91,5
Arbustes et herbacés	0,65	10,27	4,38	0,33	**83,05**	2,44	84,5	83,05
Plans d'eau	0	0	0	0	0	**97,56**	100	97,56
Landsat 8 OLI 2023								
Arboriculture	**90,55**	2,31	5,01	0	3,12	0	82,49	90,55
Zones inondées	2,61	**63,08**	7,76	0,68	16,43	0	55,22	63,08
Agriculture irriguée	6,51	25	**81,98**	14,24	13,6	0	79,7	81,98
Agriculture pluviale	0	1,92	3,82	**80,68**	2,83	0	83,51	80,68
Arbustes et herbacés	0,33	7,69	1,43	4,41	**64,02**	0	83,09	64,02
Plans d'eau	0	0	0	0	0	**100**	100	100

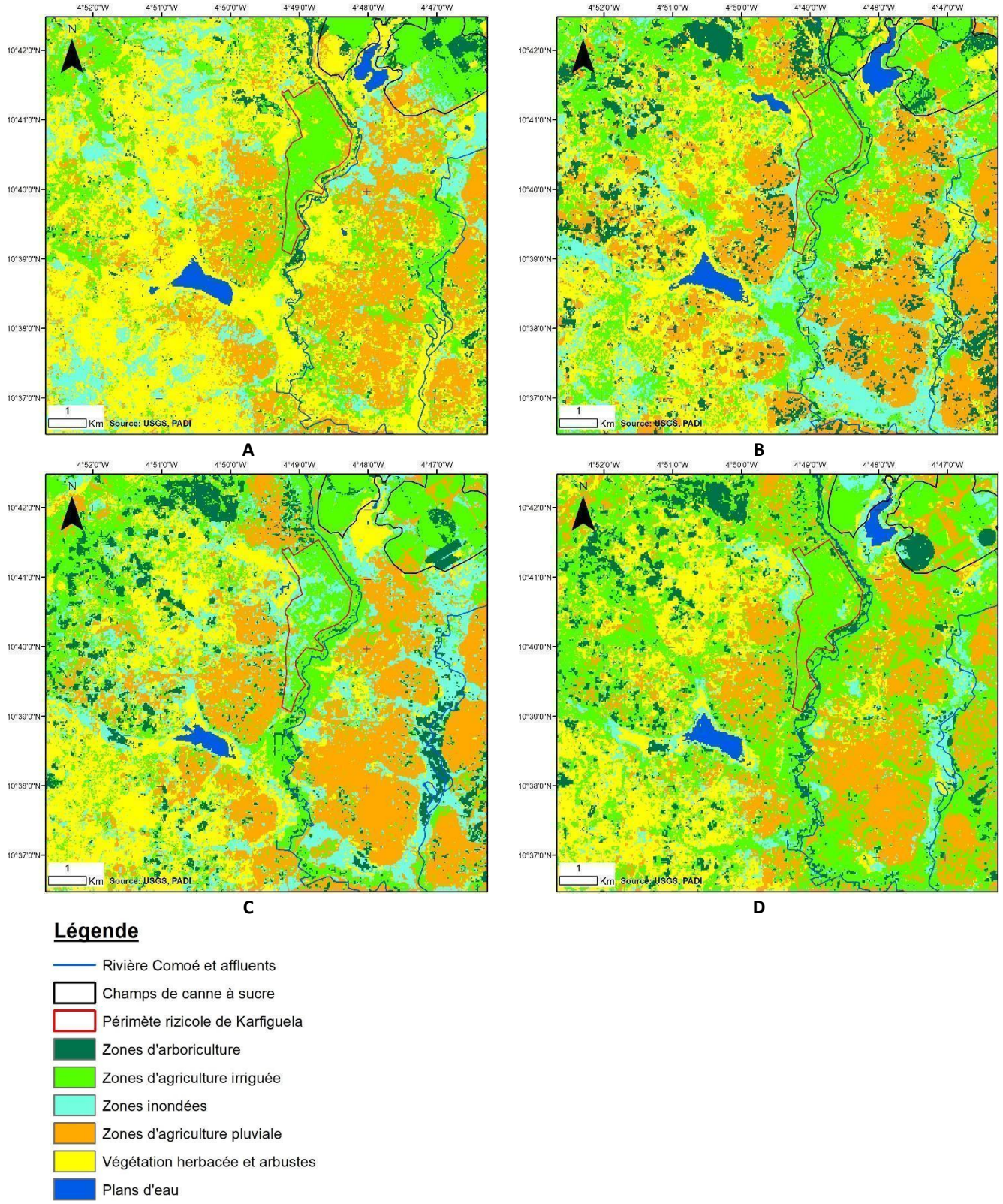


Fig. 3. Classification initiale des images satellite.
(A) Landsat-5 TM de 1986; (B) Landsat-7 ETM+ de 2001; (C) Landsat-8 OLI de 2015; (D) Landsat-8 OLI de 2023

4.2 CORRECTION DE LA TRAJECTOIRE DES PIXELS ET RECLASSIFICATION BASÉE SUR L'ANALYSE SPATIALE

À l'issue de la phase initiale de la classification, une fusion a été opérée entre la classe des plans d'eau et celle des zones inondées. D'un point de vue géomorphologique, les plans d'eau (mares et petits lacs pour l'essentiel) se situant dans des "zones inondées", ils ont été assimilées à ces zones inondées.

L'étude de la trajectoire des pixels au cours du temps a montré 216 trajectoires.

Sur l'ensemble des trajectoires considérées, certaines ne sont pas correctes. Au regard des réalités sur le terrain, répondant à une règle de changement probable des classes dans le temps, il serait improbable, voire impossible de voir des trajectoires tendant à réduire les superficies des zones agricoles irriguées (ceci, sans exclure des exceptions qui pourraient être rencontrées). Cette trajectoire serait contraire aux réalités d'expansion agricole constatées de plus en plus sur le terrain. À titre d'exemple, les trajectoires ci-dessous sont probablement incorrectes:

- Transition de "Zones irriguées" vers "Agriculture pluviale": l'agriculture pluviale se pratique sur les versants, tandis que les zones irriguées ou inondées se retrouvent dans le lit majeur du cours d'eau.
- Transition de "Zones irriguées" vers "Arbustes": la pression foncière sur les terres irriguées ne permet de mise en jachère volontaire des terres ou leur abandon vers une végétation naturelle. Ce cas de figure ne prend pas en compte les cas de jachère "forcée" dû à une insuffisance de l'eau d'irrigation en un temps et un lieu donné de la zone d'étude.
- Transition de "Zones irriguées" vers des "Zones inondées": la dynamique actuelle observée sur le terrain montre plutôt une utilisation des zones inondées (dans le cadre d'une maîtrise partielle de l'eau) pour la production de cultures telles que le riz. Aussi, on observe de plus en plus un assèchement précoce des plans d'eau du fait de la réduction de leurs profondeurs respectives sous l'effet de la sédimentation.

Ces trajectoires ont donc été corrigées, sur la base des interprétations visuelles et des informations reçues des agriculteurs et populations autochtones sur l'utilisation des terres et la couverture du sol.

À la suite de la correction des images, l'hypothèse (vérifiée sur le terrain) selon laquelle une zone d'irrigation ne peut se situer à plus 1 km de part et d'autre de la rivière a été appliquée à l'image post-classifiée. Les pixels des zones d'irrigation en dehors des zones tampon ont été reclassés.

4.3 ÉVALUATION DES PRÉCISIONS DES CLASSIFICATIONS APRÈS LA POST-CLASSIFICATION

Après tous les processus de post-classification, les images ont fait l'objet d'une évaluation et les résultats présentés dans les Tableaux 5 et 6. Cette évaluation montre une meilleure précision des classes de façon générale pour les trois périodes en atteste les valeurs des coefficients de Kappa. Les distributions spatiales des classes des quatre images sont présentées dans la Figure 4, ci-dessous.

Tableau 5. Évaluation des résultats de la post-classification

Images	Précision globale (%)	Kappa	Évaluation (*)
Landsat-5 TM, 1er fév. 1986	92,05	0.89	Très bonne
Landsat-7 ETM+, 02 fév. 2001	90,02	0.87	Très bonne
Landsat-8 OLI, 16 jan. 2015	92,50	0.87	Très bonne
Landsat-8 OLI, 22 jan. 2023	88,25	0.84	Très Bonne

(*) Selon les critères de Landis and Koch (1977) et Streiner and Norman (2003)

Tableau 6. Précisions des classifications (exprimées en %) après correction de trajectoires des pixels pour chacune des classes considérées

	Arboriculture	Zones inondées	Agriculture irriguée	Agriculture pluviale	Arbustes et herbacés	User Accuracy	Prod. Accuracy
Landsat 5 TM 1986							
Arboriculture	**49,3**	0	0	0	11,32	59,32	49,3
Zones inondées	19,72	**100**	0	1,14	12,74	92,79	100
Agriculture irriguée	2,82	0	**100**	1,14	0	98,83	100
Agriculture pluviale	7,04	0	0	**88,59**	2,36	95,88	88,59
Arbustes et herbacés	21,13	0	0	9,13	**73,58**	80	73,58
Landsat ETM+ 2001							
Arboriculture	**74,65**	0	0,56	0	7,03	91,1	74,65
Zones inondées	12,5	**100**	0,19	1,09	15,23	89,32	100
Agriculture irriguée	1,04	0	**90,62**	1,81	1,56	97,58	90,62
Agriculture pluviale	1,04	0	0	**95,29**	1,56	97,41	95,29
Arbustes et herbacés	10,76	0	8,63	1,81	**74,61**	69,96	74,61
Landsat 8 OLI 2015							
Arboriculture	**78,18**	0,65	0	10,77	0,85	87,27	78,18
Zones inondées	1,3	**95,42**	1,16	1,54	0,51	93,59	95,42
Agriculture irriguée	11,73	1,31	**98,59**	4,23	0,34	93,54	98,59
Agriculture pluviale	6,19	0,98	0,26	**81,92**	3,23	83,2	81,92
Arbustes et herbacés	2,61	1,63	0	1,54	**95,08**	97,05	95,08
Landsat 8 OLI 2023							
Arboriculture	**78,39**	0,9	0,16	0	0,42	97,37	78,39
Zones inondées	9,75	**83,26**	0,47	0	8,81	73,02	83,26
Agriculture irriguée	1,69	5,88	**92,69**	1,39	1,68	95,36	92,69
Agriculture pluviale	0	0	4,04	**94,44**	1,68	88,89	94,44
Arbustes et herbacés	9,32	9,95	2,18	4,17	**85,74**	85,39	85,74

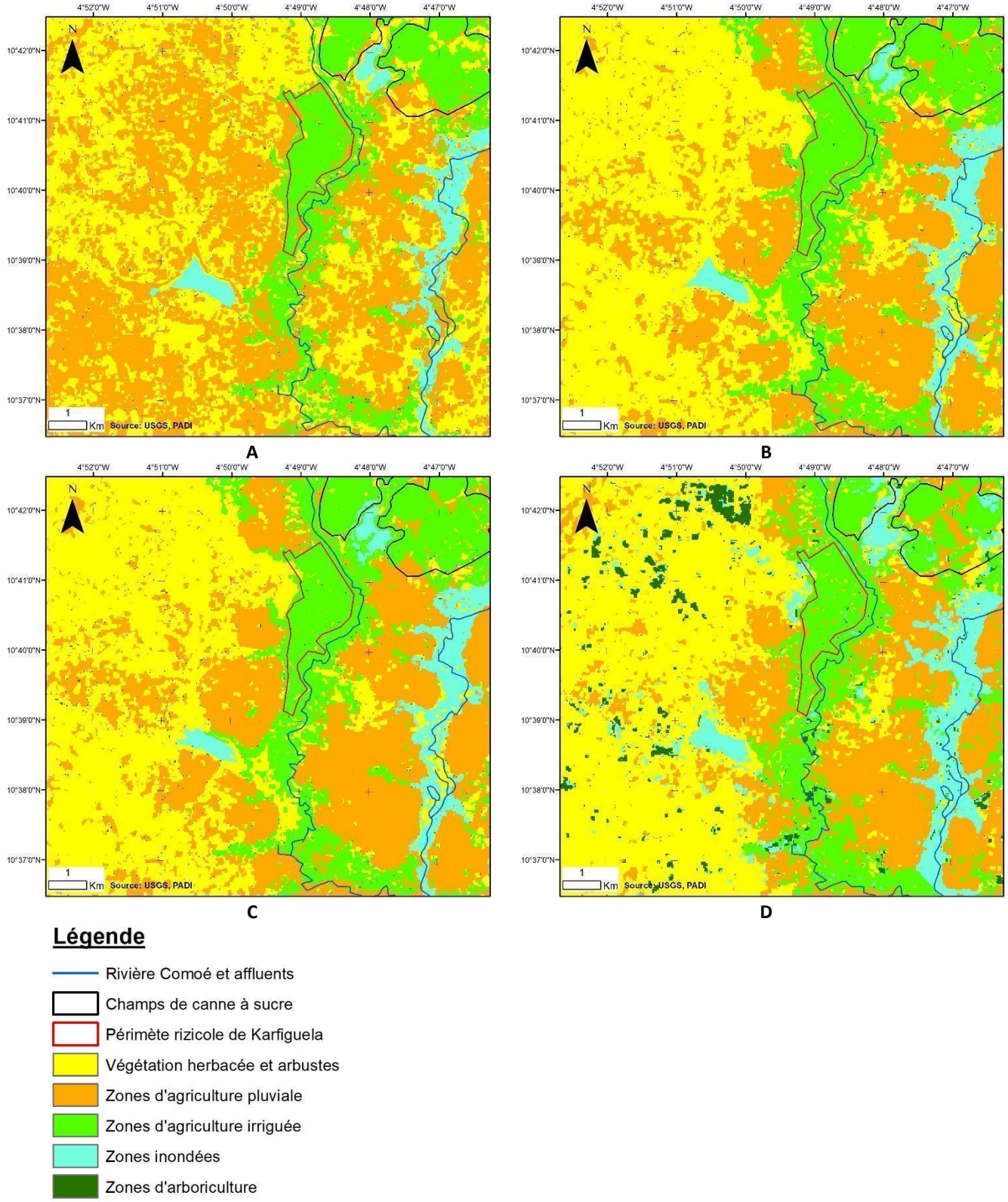


Fig. 4. Classification finale des images satellite.
(A) Landsat-5 TM de 1986; (B) Landsat-7 ETM+ de 2001; (C) Landsat-8 OLI de 2015; (D) Landsat-8 OLI de 2023

4.4 ANALYSE DES CHANGEMENTS AU SEIN DES CLASSES ENTRE 1986 ET 2023

En termes de superficie, la classe de végétation irriguée est passée de 2156 ha en 1986 à 2697 ha en 2023 (soit 541 ha de plus) (Figure 5). Les superficies irriguées en 1986 correspondent en partie aux champs de canne à sucre de la société sucrière nationale (SN-SOSUCO), au périmètre rizicole de Karfiguela (aménagé en 1975), et à quelques exploitants maraîchers installées le long de la rivière Comoé. Entre 1986 et 2001, cette superficie est passée à 2763 ha (soit, 607 ha de plus qu'en 1986); ces nouvelles terres irriguées se localisent pour la plupart le long de la rivière Comoé et concernent majoritairement du maraîchage. Le début des années 2000 correspond au plan de la politique nationale, au lancement de la petite irrigation privée; cette initiative du gouvernement du Burkina Faso visait à soutenir un développement de l'irrigation de petites superficies irriguées au sein d'aménagements hydro-agricoles formels ou non (en opposition à la politique agricole des années 1970-1980 qui visait plutôt à développer de grands aménagements hydroagricoles). Le résultat de cette nouvelle politique agricole orientée vers la petite irrigation privée, a été un accroissement rapide des superficies agricoles irriguées. L'une des mesures phares de la nouvelle politique a été la subvention à l'achat des motopompes, les rendant ainsi plus accessibles aux producteurs. L'un des inconvénients de l'utilisation massive des motopompes dans l'exhaure de l'eau d'irrigation, a été une surconsommation d'eau (liée à une faible efficience d'irrigation). Au sein de la zone d'étude, l'eau est devenue la "variable d'ajustement" des superficies agricoles irriguées, d'une année à l'autre. Ainsi, on constate qu'entre 2001 et 2023, les superficies irriguées oscillent entre 2700 et 2800 ha.

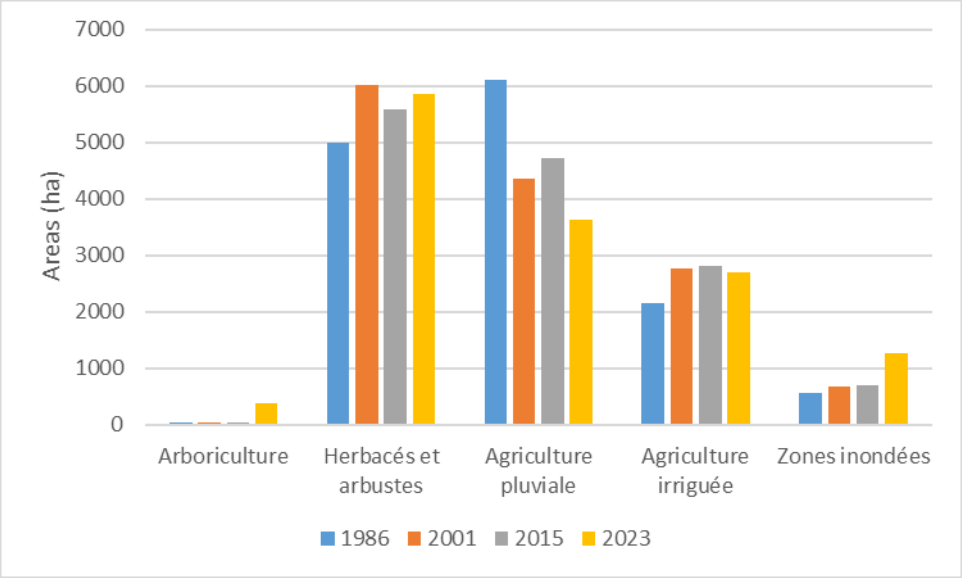


Fig. 5. Estimation des superficies des classes après post-classification

La vitesse et l'intensité des changements d'occupation/utilisation des terres entre 1986 et 2023 sont présentées dans les Figures 6 à 8. L'augmentation des superficies agricoles irriguées entre 1986 et 2001 s'est produite au détriment des zones de végétation herbacée et arbustive et des zones agricoles pluviales (Figure 6). Entre 2001 et 2015, et 2015 et 2023, cette augmentation a prioritairement ciblé des zones basses ou inondées (Figures 7 et 8). Ce ciblage des zones inondées pourrait correspondre à des parcelles de riziculture aménagées dans et/ou autour de ces zones inondées. L'étude de la mesure de l'intensité du changement montre que c'est l'intervalle 2015-2023 qui a connu les changements les plus rapides au sein des classes LULC (Figure 9).

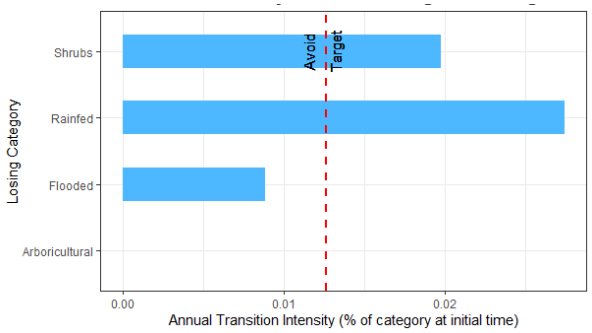


Fig. 6. Mesure de l'intensité de transition des autres classes au profit de celle des superficies irriguées entre 1986 - 2001

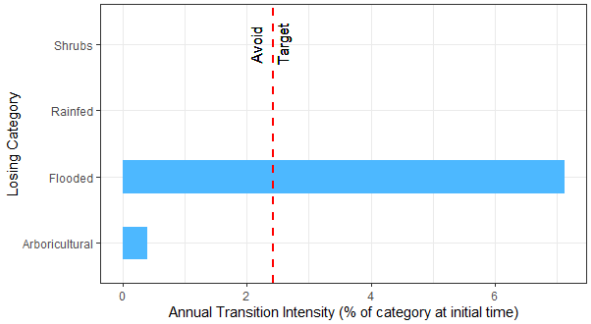


Fig. 7. Mesure de l'intensité de transition des autres classes au profit de celle des superficies irriguées entre 2001 - 2015

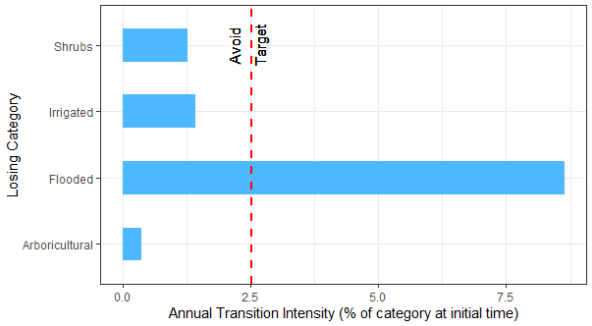


Fig. 8. Mesure de l'intensité de transition des autres classes au profit de celle des superficies irriguées entre 2015 - 2023

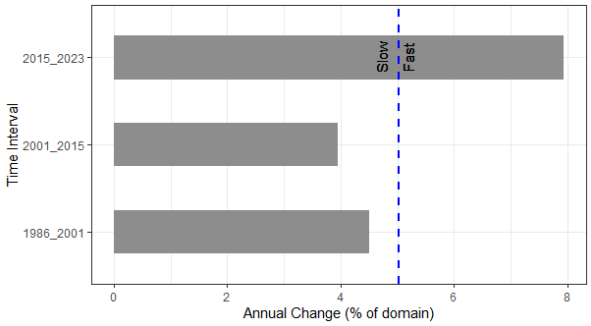


Fig. 9. Mesure de la vitesse du changement par intervalle de temps considéré (1986 - 2001, 2001 - 2015, 2015 - 2023)

Les années à venir pourraient apporter des perspectives sombres dans la satisfaction des besoins en eau d'irrigation au sein des zones agricoles tout au long de la rivière Comoé. Les eaux de cette rivière sont régulées en amont depuis la construction, entre 1976 et 1991, des trois barrages (Moussodougou, Toussiana et Lobi). Des règles d'allocation d'eau sont établies et révisées chaque année, au profit des usages agricoles et d'eau potable (prioritaire). Au sein des usagers agricoles, le plus gros consommateur est la SN-SOSUCO, puis suivent les producteurs maraîchers et rizicoles. La SN-SOSUCO est également le plus gros contributeur en matière de dépenses liées à l'utilisation de l'eau; il va sans dire que, au sein de l'usage agricole, leurs besoins sont "prioritairement" satisfaits, avant ceux des producteurs maraîchers. Une éventuelle diminution de la ressource en eau (sous l'effet du changement climatique), une augmentation des superficies de cultures maraîchères ou tout simplement une augmentation des besoins en eau agricole (sous l'effet du changement climatique), pourraient résulter en des demandes en eau agricole partiellement satisfaites, engendrant une concurrence dans l'accès à l'eau ou même des conflits.

La méthode mise en œuvre au cours de cette étude a permis d'atteindre les objectifs de l'étude. L'un des points forts de la méthode (déjà mise en œuvre partiellement par Traoré et al. (2013) et Traoré et al. (2019)) reste la correction de la trajectoire temporelle des pixels. Cette correction de trajectoire, basée sur une connaissance agronomique de la zone d'étude, permet régénérer une information assez précise sur l'occupation/utilisation du sol à des périodes assez reculées dans le temps. Nos travaux ont permis de reconstituer une carte assez précise de l'occupation/utilisation du sol en 1986. Toutefois, l'analyse de la trajectoire des pixels n'aura pas permis, à elle seule, de résoudre le problème de la confusion assez importante constatée entre les pixels de la classe de l'agriculture irriguée et ceux de la classe des zones inondées. La source de la confusion provient de la présence d'une certaine végétation naturelle au sein de la classe des zones inondées, entretenue par l'humidité des sols de ladite classe. La bonne connaissance de la zone d'étude a servi de base à l'analyse spatiale conduite, permettant ainsi de séparer les deux classes. Quelques pistes sont envisagées afin d'améliorer la discrimination entre les deux classes en utilisant notamment une analyse temporelle des séries d'indice de végétation normalisé (en anglais, *normalized difference vegetation index,* NDVI), en supposant que le profil NDVI de la végétation au sein de la classe des zones inondées est plus stable que celui

de la classe de l'agriculture irriguée. Une piste supplémentaire serait l'utilisation d'images RADAR pour une meilleure détection des zones inondées.

5 CONCLUSION

Le suivi des superficies agricoles irriguées au sein de la Haute-Comoé entre 1986 et 2023, a montré des variations notables. Les conclusions de cette étude ont montré que les zones irriguées ont augmenté d'un peu plus de 25% en 37 ans (1986 à 2023).

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes basés sur des images satellitaires qui ont subi une classification en utilisant l'algorithme "Support Vector Machine" (SVM). Un post-traitement sur la base de l'analyse de la trajectoire des pixels classifiés a permis une amélioration de la précision des classes en général. Une amélioration du post-traitement a permis une meilleure redéfinition de la classe d'agriculture irriguée. L'évaluation des résultats du post-traitement ont permis d'améliorer sensiblement la qualité des classifications.

Les résultats suggèrent que l'évolution future des zones agricoles irriguées au sein de la Haute-Comoé est tributaire des quantités d'eau qui seront allouées par les gestionnaires de la ressource, sachant que des tensions exacerbées par les péjorations climatiques annoncées sont à prévoir. Les résultats de l'étude constituent un outil pouvant aider à la gestion de l'eau agricole au sein de la Haute-Comoé.

REFERENCES

[1] Aldwaik S.Z., Pontius R.G., 2012, Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition, *Landscape and Urban Planning,* 106, pp. 103-114.

[2] Banko G., 1998, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Austria), p. 42

[3] Bastiaanssen W.G.M., Molden D.J., Makin I.W., 2000, Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications, *Agricultural Water Management,* 46, pp. 137-155.

[4] Chander G., Markham B.L., 2003, Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 41, pp. 2674-2677.

[5] Chander G., Markham B.L., Helder D.L., 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment,* 113, pp. 893-903.

[6] Congalton R.G., Green K., 2009, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices,* Boca Raton, FL, CRC/Taylor & Francis, (Second ed.), p. 200.

[7] Foody G.M., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment,* pp. 185-201.

[8] INSD, 2022, Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso: Synthèse des résultats définitifs, INSD, Ouagadougou, Burkina Faso, p. 136.

[9] Kambou D., 2019. Évaluation des performances techniques de l'irrigation au Burkina Faso, Liege Université, Gembloux, Belgium, p. 190.

[10] Koglo Y.S., Gaiser T., Agyare W.A., Sogbedji J.M., Kouami K., 2019, Implications of some major human-induced activities on forest cover using extended change matrix quantity and intensity analysis based on historical Landsat data from the Kloto District, Togo, *Ecological Indicators,* 96, pp. 628-634.

[11] Landis J.R., Koch G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics,* 33, pp. 159-174.

[12] Mantero P., Moser G., Serpico S.B., 2005, Partially Supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 43, pp. 559-570.

[13] Mas J.F., 1999, Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing,* 20, pp. 139-152.

[14] Mountrakis G., Im J., Ogole C., 2011, Support vector machines in remote sensing: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 66, pp. 247-259.

[15] Nébié O., 1993, Les aménagements hydro-agricoles au Burkina Faso: Analyse et bilan critiques, *Travaux de l'Institut Géographique de Reims,* Espaces africains en crise. Formes d'adaptation et de réorganisation, pp. 123-140.

[16] Palé S., Traoré F., Wellens J., Tychon B., 2019, Diagnostic d'un système d'informations de gestion de l'eau à usage agricole dans le sous-bassin versant de la Haute-Comoé, Burkina Faso, *Geo-Eco-Trop,* 43, pp. 433-443.

[17] Palé S., Wellens J., Traoré F., Roncoli C., Sallah A.-H.M., Zangré B.V.C.A., Tychon B., 2021, Testing an open app-based water management information system and its uptake among stakeholders in the Upper-Comoé river basin (Burkina Faso), *Water International,* pp. 1-15.

[18] Pontius R.G., Gao Y., Giner N.M., Kohyama T., Osaki M., Hirose K., 2013, Design and Interpretation of Intensity Analysis Illustrated by Land Change in Central Kalimantan, Indonesia, *Land,* 2, pp. 351-369.
[19] Richards J.A., Jia X., 2006, *Remote Sensing Digital Image Analysis,* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (4th ed.), p. 439.
[20] Servat E., Mahé G., 2009, Eau et zones arides: enjeux et complexité, *Science et changements planétaires / Sécheresse,* 20, pp. 7-8.
[21] Streiner D.L., Norman G.R., 2003, *Health Measurement Scales: A Practical Guide to Their Development and Use,* Oxford University Press, USA, (3rd ed.), p. 296.
[22] Traoré F., Bonkoungou J., Compaoré J., Kouadio L., Wellens J., Hallot E., Tychon B., 2019, Using Multi-Temporal Landsat Images and Support Vector Machine to Assess the Changes in Agricultural Irrigated Areas in the Mogtedo Region, Burkina Faso, *Remote Sensing,* 11, p. 1442.
[23] Traoré F., Cornet Y., Denis A., Wellens J., Tychon B., 2013, Monitoring the evolution of irrigated areas with Landsat images using backward and forward change detection analysis in the Kou watershed, Burkina Faso, *Geocarto International,* 28, pp. 733-752.
[24] Traoré F., Palé S., Compaoré J., Bonkoungou J., Baki C.B., Zaré A., Wellens J., Zangré B.V.C.A., Tychon B., 2023, Gestion de l'eau agricole de petites et moyennes retenues au Burkina Faso: cas de Mogtedo, *International Journal of Innovation and Applied Studies,* 40, pp. 940-955.
[25] Turral H., Svendsen M., Faures J.M., 2010, Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future, *Agricultural Water Management,* 97, pp. 551-560.
[26] Venot J.P., Fraiture C., Acheampong E., 2012, Revisiting dominant notions: A review of costs, performance and institutions of small reservoirs in sub-Saharan Africa, *IWMI Research Report,* 144, pp. 1-31.
[27] VREO, 2010, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Ressources en Eau du Bassin de la Comoé (SDAGE-Comoé): Analyse et diagnostic de l'état des lieux des ressources en eau du bassin, VREO Project, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, p. 95
[28] Yaméogo W.M.V., Kaboré O., Sanon Z., Akpa Y.L., Traoré F., Tankoano B., Hien M., 2023, Dynamique spatio-temporelle des surfaces en eau du bassin du Nakanbé-Mané au Burkina Faso, *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 17, pp. 233-246.
[29] Zhou P., Huang J., Pontius R.G., Jr., Hong H., 2014, Land classification and change intensity analysis in a coastal watershed of Southeast China, *Sensors (Basel, Switzerland),* 14, pp. 11640-11658.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 972-987
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation de la valeur écologique du domaine Mamadou Sangaré (Département de Dianra, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Evaluation of the ecological value of the Mamadou Sangaré estate (Dianra department, North-West Côte d'Ivoire)]

Zinsi Roseline Gouli Gnanazan[1], N'Guessan Olivier Yao[1], Sopie Elvire Vanessa Akaffou[1], Mamadou Sangare[2], and Kouakou Edouard N'Guessan[3]

[1]Laboratoire des Systématiques Herbiers et Musée botanique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Société de Developpement des Forêts (SODEFOR), Côte d'Ivoire

[3]Laboratoire des Milieux naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The purpose of this study was to improve knowledge on the evaluation of the ecological value of a plant formation. This process includes several stages including the definition of the evaluation objective, the inventory of the environment or data collection, the choice of criteria, the rating of the criteria, the calculation of the weighting by criterion and the total weighting and finally, the evaluation of the ecological value of the site. he practical case of the Mamadou Sangaré estate shows that denser and richer forest formations record a higher ecological value compared to savannah formations.

KEYWORDS: Ecological value, Dianra department, Côte d'Ivoire.

RESUME: L'objet de cette étude était d'améliorer les connaissances sur l'évaluation de la valeur écologique d'une formation végétale. Ce processus comporte plusieurs étapes dont la définition de l'objectif d'évaluation, l'inventaire du milieu ou collecte des données, le choix des critères, la cotation des critères, le calcul de la pondération par critère et de la pondération totale et enfin, l'évaluation de la valeur écologique du site. Le cas pratique du domaine Mamadou Sangaré montre que les formations forestières plus denses et plus riches enregistrent une valeur écologique plus élevée comparativement aux formations savanicoles.

MOTS-CLEFS: Valeur écologique, département de Dianra, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La valeur écologique peut se rapporter à la notion d'intégrité du milieu [1]. La valeur écologique ou environnementale d'un écosystème se définit par l'évaluation de ses composantes et de leurs interactions entre elles ainsi qu'avec leur environnement. L'évaluation de la valeur écologique permet de mieux définir la biodiversité, en connaître les composantes et cerner l'influence de la gestion. Elle constitue un moyen pour préciser l'importance des forêts pour la conservation de la biodiversité [2].

En Côte d'Ivoire, plusieurs auteurs ont eu recourt à la valeur écologique pour évaluer l'importance ou la valeur de divers écosystèmes étudiés [3]; [4]; [5]. Cependant, l'on observe une diversité de méthodologie dans ces études ainsi qu'une variabilité de critères. En outre, les composantes de l'écosystème utilisées lors de ces évaluations sont uniquement liées à la valeur de conservation et ne permettent pas d'apprécier l'état écologique de ces sites, alors que les deux aspects sont importants pour une meilleure appréciation de la valeur écologique du milieu.

La présente étude a été initiée afin de combler cette lacune en définissant une méthodologie d'évaluation qui se veut universelle et avec des critères permettant de prendre en compte les différentes composantes de l'écosystème, préalable à une évaluation plus pertinente.

Ainsi, la présente étude s'est fixée comme objectif général d'améliorer les connaissances sur l'évaluation de la valeur écologique d'une formation végétale. De façon spécifique, il s'est agi (1) d'évaluer la valeur de conservation du domaine Mamadou Sangaré et (2) estimer sa valeur naturelle.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans le domaine Mamadou SANGARE. Le domaine est situé dans le Département de Dianra, au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, précisément dans la région du Béré (District du Woroba) entre 8° 46' de latitude Nord et 6° 15' de longitude Ouest (Figure 1). Ce domaine est un complexe agro-sylvo-pastoral d'une superficie de 464,02 hectares. Il est composé d'une plantation de teck, d'une palmeraie, d'un espace fruitier et d'une zone de végétation naturelle qui couvre une superficie de 333 hectares. L'étude a porté sur la végétation naturelle qui compte des formations végétales de la zone dans un bon état de conservation. Il s'agit de forêt dense sèche, de forêt galerie, de mosaïque forêt claire/savane boisée, de savane arborée, de savane arbustive et de savane arbustive à faible densité [6].

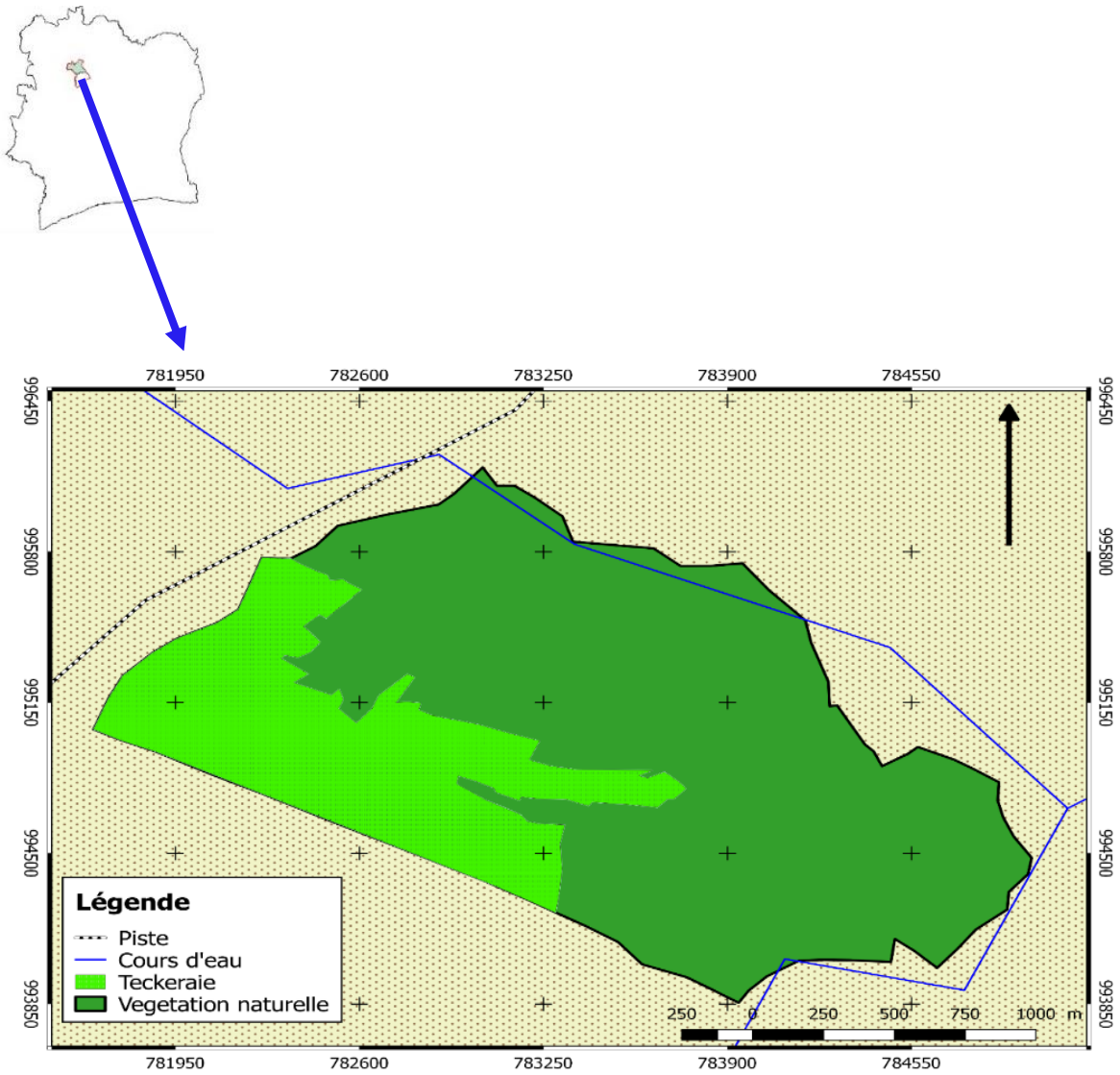


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude en Côte d'Ivoire et dans le Département de Dianra

2.2 DÉMARCHES MÉTHODOLOGIQUE DE L'ÉVALUATION DE LA VALEUR ÉCOLOGIQUE

La valeur écologique compte plusieurs approches. Il s'agit de: (1) la valeur conservatoire qui désigne le potentiel de conservation et repose sur des critères d'appréciation humaine vis-à-vis de la diversité, de la rareté ou bien encore de la vulnérabilité des espèces et des habitats; (2) la valeur naturelle qui se rapporte à l'intégrité écologique, est indépendante de toute considération anthropocentrique et déduite des attributs écologiques du système (composition, structure, fonctionnement); (3) la valeur sociale correspondant à la valeur biologique, accordée par l'homme à un site donné en raison de son utilité ou de l'ensemble des services fournit par le site à travers ses divers usagers [7].

La réalisation d'un diagnostic écologique commence par la définition des objectifs [8]. Il en existe deux, à savoir: (1) la protection ou la restauration de la biodiversité [9].; (2) et, l'appréciation de l'état écologique des sites pour le suivi des milieux et l'évaluation des conséquences de scénarios d'aménagement [10].

La deuxième étape porte sur la définition des critères; qui varient en fonction de l'objectif fixé. Cependant, les composantes de l'écosystème évaluées sont quasiment les mêmes quel que soit l'objectif. Il s'agit de la composante biologique (faune, flore) et abiotiques (milieux aquatiques et rocheux, sols).

L'étape suivante consistera à suivre une démarche en cinq (5) points illustrée à la Figure 2.

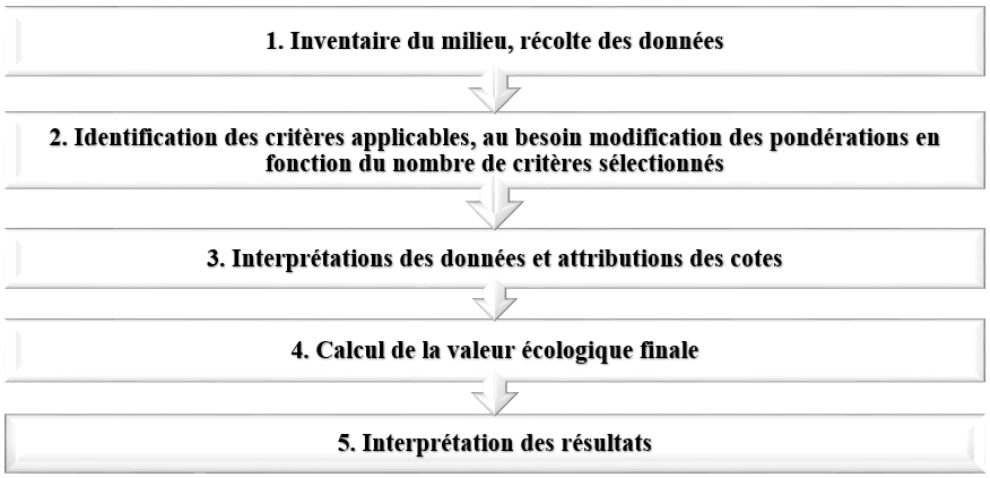


Fig. 2. Démarche méthodologique d'évaluation de la valeur écologique [1]

2.3 COLLECTE DES DONNÉES

Les données ont été recueillies selon deux méthodes de relevés: la première méthode utilisée est celle des relevés de surface. Elle a consisté à installer des placettes carrées de 400 m^2 (20 m×20 m) dans les formations végétales identifiées (Forêt sèche, forêt galerie, mosaïque forêt claire/ savane boisée, savane arborée, savane arbustives). A l'intérieur de chaque placette, toutes les espèces végétales (arbres, arbustes, lianes et herbes) ont été identifiées et le diamètre de tous les individus d'espèces végétales (lianes, arbustes et arbres) a été mesuré. Dans le cas précis de cette étude, le DHP minimum retenu est de 2,5 cm car selon [11], la réduction du DHP minimum à 2,5 cm permet de maximiser la diversité des espèces végétales dans un milieu.

L'identification des plantes a été faite grâce à la clé d'identification de [12]. Cette clé est basée sur la reconnaissance de la feuille, des fruits et dans certains cas de la section du tronc. Les noms des espèces suivent [13]; [14] et la nomenclature adoptée pour les familles est celle de [15]. Les plantes non identifiées sur place ont été récoltées et déterminées par comparaison avec les échantillons en Herbier du Centre National de Floristique. La seconde méthode est un inventaire itinérant. Elle a été effectuée afin de recenser des plantes non rencontrées dans les placettes d'inventaires.

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Pour le cas pratique de l'évaluation de la valeur écologique du domaine (valeur conservatoire et valeur naturelle), les critères retenus sont: le nombre d'espèces à statut particulier, la richesse spécifique, la similarité, la stratification et le degré d'artificialisation en référence aux critères développés par [16].; [1].; [17]. Nous y avons également adjoint d'autres critères que sont le nombre d'espèces commerciales et le taux équivalent de CO_2 (Figure 3). Une cote de point dont l'échelle varie de 0 à 5 a été attribuée à chaque critère (Tableau 1). Lorsque les pondérations ont été attribuées, la valeur écologique s'obtient en appliquant la formule suivante établie par [1]:

Résultat d'un critère = cote attribuée × pondération attribuée

Résultat maximal = cote maximale × Σ Pondérations

Valeur écologique = (Σ Résultats / Résultat maximal) ×100

Une fois la valeur écologique évaluée, elle a été appréciée qualitativement en suivant une échelle de Likert à 5 niveaux avec un pas de 20 % (Figure 4).

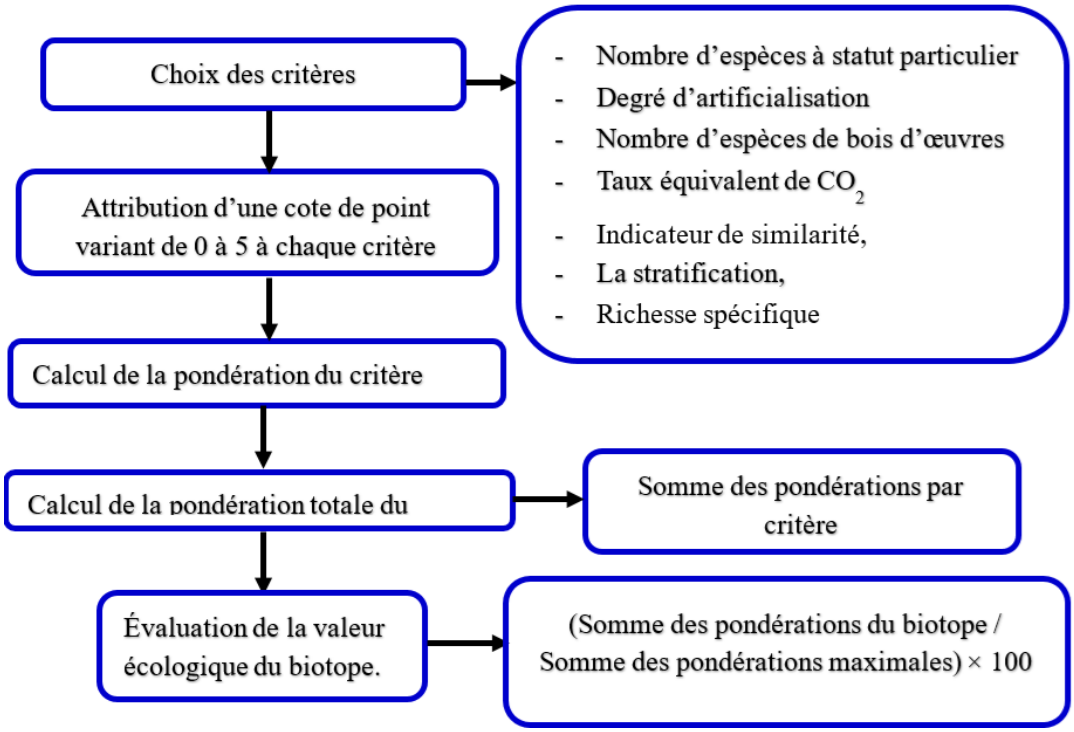


Fig. 3. Schéma des étapes d'évaluation de la valeur écologique

Tableau 1. Liste des critères d'évaluation de la valeur écologique et cotes des critères

Critères	Définition	Unité	Cotation				
Espèces endémiques	Espèces à distribution restreinte	% d'espèces endémiques de la zone	-20% 1	20%-40% 2	40-60% 3	60-80% 4	80-100% 5
Espèces rares selon Aké-Assi (1998)	Espèces rares en voie de disparition de la flore ivoirienne	% d'espèces rares et n voie de disparition de la zone	-20% 1	20%-40% 2	40-60% 3	60-80% 4	80-100% 5
Espèces ménacées selon (UICN 2018)	Espèces ménacées de la liste de l'UICN 2018	% d'espèces menacées de la zone	-25% VU 1	25%-50% VU 2	50-75% VU 3	50-75% VU et ED 4	75-100% VU et ED 5
Richesse spécifique	Nombre d'espèces du biotope	% de la richesse spécifique de la formation végétale climacique	-20% 1	20%-40% 2	40-60% 3	60-80% 4	80-100% 5
La stratification	Le nombre de strates de la végétation	-	2 strates arbustives 1	2 (strates arbustive et arborescente) 2	3 3	4 4	5 5
le dégré d'artificialisation	Exprime le dégré d'anthropisation du biotope	% d'individus d'espèces cultuvées de la zone	0% 1	-25% 2	25%-50% 3	50-75% 5	75-100% 5
Taux éqivalent de CO2 athmosphérique		% de la valeur moyenne du taux de CO_2 de l'état climacique	-20% 1	20%-40% 2	40-60% 3	60-80% 4	80-100% 5
Indicateur de similarité	Similitude floristique entre biotopes	% de ressemblance floristique entre chaque biotope et la formation climacique	-10% 1	10%-25% 2	25%-50% 3	50%-75% 4	75%-100% 5
Richesse en bois d'oeuvre	Nombre d'espèce de bois d'oeuvre	% d'espèces et de la catégorie de bois d'oeuvre	Catégorie P1 Catégorie P2 Catégorie P3		1 espèce 1 espèce 1 espèce		1, 5 1 0,5 20,5

Légende:

***UICN**: Union internationale pour la conservation de la nature, **VU** (espèces vulnérable selon UICN), **ED** (espèces en danger de disparition selon l'UICN).*

< 80 %		**Très forte valeur écologique**
80-60 %		**Forte valeur écologique**
60-40 %		**Valeur écologique moyenne**
40-20 %		**Faible valeur écologique**
0-20 %		**Très faible valeur écologique**

Fig. 4. Schema illustratif de l'appréciation de la valeur écologique des Biotopes

3 RÉSULTATS

3.1 ESPÈCES À STATUT PARTICULIER

La zone investiguée renferme au total 35 espèces à statut particulier. Ce nombre correspond à 7,14 % de la richesse spécifique de la zone d'étude. Le domaine Mamadou SANGARÉ, par contre, compte 28 espèces à statut particulier correspondant à 5,71 % de la richesse floristique de la zone et à 80 % de la richesse des espèces à statut particulier de la zone d'investigation. Nos investigations nous ont permis d'identifier au sein de la zone d'étude 17 espèces endémiques. Parmi celles-ci 13 figurent sur la liste des espèces du domaine Mamadou SANGARÉ **(**Tableau II). On compte, au sein de cette richesse floristique, 2 espèces qui sont exclusivement endémiques à la Côte d'Ivoire. Il s'agit de *Chamaeangis pauciflora* et de *Cyphostemma ornatum.* On dénombre de même 4 espèces exclusivement inféodées à la région phytogéographique Ouest africain (GCW) dont *Amorphophallus accrensis* N.E.Br (Figure 5), *Hippocratea vignei* Hoyle, *Samanea dinklagei* (Harms) Keay. Cinq (5) espèces endémiques à la Haute-Guinée (HG) ont également été recensées. Il s'agit entre autres de *Anthostema senegalense* A. Juss (Figure 6), *Ficus ottoniifolia* (Miq.) Miq., *Psorospermum glaberrimum* Hochr. On a par ailleurs enregistré une espèce qui est à la fois inféodée à la Côte d'Ivoire et la Haute Guinée. Il s'agit de *Uvaria tortilis* A.Chev. ex Hutch. & Dalz. (Figure 7). Cinq (5) autres espèces appartiennent à la fois à l'Ouest africain et à la haute Guinée. Il s'agit entre autres de *Cola caricifolia* (G.Don) K.Schum., *Ficus scott-elliotii* Mildbr. & Burret, *Milicia regia* (A.Chev.) Berg (Figure 8).

Tableau 2. ***Liste des espèces endémiques de la zone d'étude***

No	Espèces	Famille	Endémise
1	*Aeglopsis chevalieri* Swingle	Rutaceae	HG
2	*Amorphophallus accrensis* N.E.Br.	Araceae	GCW
3	*Anthostema senegalense* A. Juss.	Euphorbiaceae	HG
4	*Bulbophyllum calyptratum* Kraenzl.	Orchidaceae	GCW_HG
5	*Chamaeangis pauciflora* Perez-Vera	Orchidaceae	GCi
6	*Cola caricifolia* (G.Don) K.Schum.	Malvaceae	GCW_HG
7	*Cyphostemma ornatum* Desc.	Vitaceae	GCi
8	*Dalbergia oblongifolia* G.Don	Fabaceae	GCW
9	*Ficus ottoniifolia* (Miq.) Miq.	Moraceae	HG
10	*Ficus platyphylla* Del.	Moraceae	HG
11	*Ficus scott-elliotii* Mildbr. & Burret	Moraceae	GCW_HG
12	*Hippocratea vignei* Hoyle	Celastraceae	GCW
13	*Milicia regia* (A.Chev.) Berg	Moraceae	GCW_HG
14	*Mussaenda chippii* Wernh.	Rubiaceae	GCW_HG
15	*Psorospermum glaberrimum* Hochr.	Hypericaceae	HG
16	*Samanea dinklagei* (Harms) Keay	Fabaceae	GCW
17	*Uvaria tortilis* A.Chev. ex Hutch. & Dalz.	Annonaceae	GCi_HG

GCi*: endémique à la Côte d'Ivoire,* ***GCW****: endémique Ouest africain,* ***HG****: endémique Haute-Guinée*

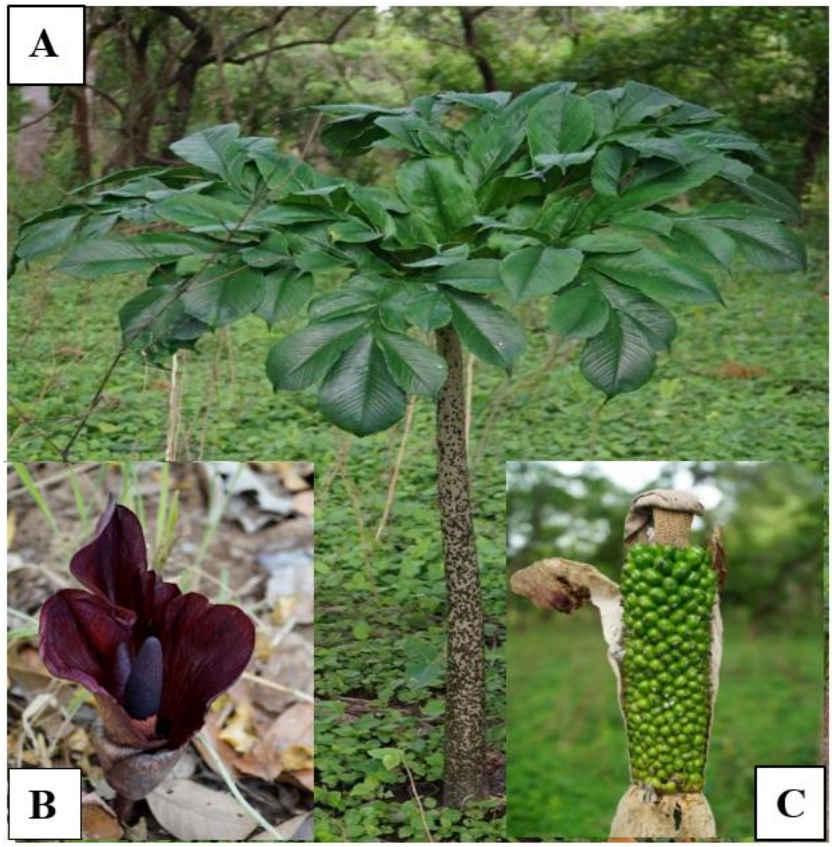


Fig. 5. ***Images de Amorphophallus accrensis N.E.Br (Araceae), espèce endémique ouest africaine***
A: Pédoncule / B: Inflorescence / C: Fruits



Fig. 6. Image de rameaux fructifères de Anthostema senegalense A. Juss. (Euphorbiaceae), une espèce endémique de la Haute Guinée



Fig. 7. Aperçu de rameau inflorescentiel de Uvaria tortilis A.Chev. ex Hutch. & Dalz. (Annonaceae), espèce endémique à la Côte d'Ivoire et à la Haute Guinée



Fig. 8. Aperçu de rameau de Milicia regia (A.Chev.) Berg (Moraceae), une espèce endémique à l'ouest africain et à la Haute Guinée

3.2 ESPÈCES RARES ET EN VOIE D'EXTINCTION SELON [18] ET UICN (2018)

Un total de 33 espèces figure sur les listes de [18] et de [19]. Cette richesse correspond à 6% de la richesse floristique de la zone et à 69,39 % de la richesse patrimoniale de la zone. Parmi ces espèces, 12 figurent sur la liste de Aké-Assi comme espèces rares et en voie d'extinction dont 7 inclusives à cette liste. Le domaine en compte 10 espèces soit 83,33 % des espèces inscrites sur la liste Aké-Assi (Tableau III). Il s'agit entre autres de *Ensete gilletii* (De Wild) Cheesman (Figure 9), *Lannea nigritana* (Sc.Elliot) Keay var. *nigritana, Syzygium guineense* (Willd.) DC. var. *guineense*. Au nombre des espèces inventoriées, 26 espèces ont été évaluées par [19]. Parmi celles-ci, on dénombre 11 espèces menacées ou ayant un statut de conservation pour l'ensemble de la zone et 10 espèces pour le domaine Mamadou SANGARÉ soit 90,91 % des espèces à statut de conservation selon UICN (Tableau III). Il s'agit de la catégorie En Danger (ED) qui comprend une espèce à savoir *Pericopsis elata* (Harms) van Meeuwen et la catégorie Vulnérable (VU) qui compabilise 10 espèces dont *Afzelia africana* Sm. ex Pers (Figure 10) et *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. On y compte donc 16 espèces avec les statuts préoccupation mineure (LC), quasi menacée et Données insuffisantes (DD).

Tableau 3. Liste des espèces inscrites sur les listes de Aké-Assi et de l'UICN Statut [20]: PRE (Plante Rare en voie d'Extinction)

No	Espèces	Famille	[20]	[19]
1	*Acroceras zizanoides* (Kunth) Dandy	Poaceae		LC
2	*Afzelia africana* Sm. ex Pers.	Fabaceae		VU
3	*Albizia ferruginea* (Guill. & Perr.) Benth.	Fabaceae		VU
4	*Antrocaryon micraster* A.Chev. & Guill.	Anacardiaceae		VU
5	*Cissus doeringii* Gilg & Brandt	Vitaceae		LC
6	*Cleidion gabonicum* Baill.	Euphorbiaceae	PRE	
7	*Commelina benghalensis* L.	Commelinaceae		LC
8	*Commelina erecta* L.	Commelinaceae		LC
9	*Desmodium adscendens* (Sw.) DC.	Fabaceae		LC
10	*Desmodium salicifolium* (Poir.) DC.	Fabaceae		LC
11	*Detarium microcarpum* Guill. & Perr.	Fabaceae	PRE	LC
12	*Ensete gilletii* (De Wild) Cheesman	Musaceae	PRE	
13	*Fimbristylis ferruginea* (L.) Vahl.	Cyperaceae		LC
14	*Fimbristylis littoralis* Gand.	Cyperaceae		LC
15	*Garcinia afzelii* Engl.	Clusiaceae	PRE	VU
16	*Isoberlinia doka* Craib & Stapf	Fabaceae		LC
17	*Khaya anthotheca* (Welw.) C.DC.	Meliaceae		VU
18	*Khaya senegalensis* (Desv.) A. Juss.	Meliaceae		VU
19	*Lannea nigritana* (Sc.Elliot) Keay	Anacardiaceae	PRE	
20	*Milicia excelsa* (Welw.) Berg	Moraceae	PRE	LR/nt
21	*Milicia regia* (A.Chev.) Berg	Moraceae	PRE	VU
22	*Panicum repens* L.	Poaceae		LC
23	*Pararistolochia goldieana* (Hook.f.) Hutch. & Dalz.	Aristolochiaceae	PRE	
24	*Paspalum scrobiculatum* L.	Poaceae		LC
25	*Pavetta lasioclada* (K.Krause) Mildbr. ex Bremek.	Rubiaceae		VU
26	*Pericopsis elata* (Harms) van Meeuwen	Fabaceae	PRE	EN
27	*Pterocarpus santalinoides* DC.	Fabaceae		LR/lc
28	*Raphia sudanica* A.Chev.	Arecaceae		DD
29	*Syzygium guineense* (Willd.) DC. var. guineense	Myrtaceae	PRE	
30	*Syzygium guineense* (Willd.) DC. var. littorale Keay	Myrtaceae	PRE	
31	*Tacca leontopetaloides* (L.) O.kuntze	Dioscoreaceae		LC
32	*Uvaria tortilis* A.Chev. ex Hutch. & Dalz.	Annonaceae	PRE	
33	*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.	Sapotaceae		VU



Fig. 9. Aperçu de Ensete gilletii (De Wild) Cheesman (Musaceae), une plante rare et en voie d'extinction selon [20].



Fig. 10. Apeerçu de Afzelia africana Sm. ex Pers. (Fabaceae), une espèce vulnérable selon [19].

3.3 ESPÈCES DE BOIS D'ŒUVRE

L'inventaire botanique a permis d'identifier 17 espèces qui sont utilisées comme bois d'œuvre. Toutes ces espèces se rencontrent au sein du domaine Mamadou SANGARÉ (Tableau IV). Cette diversité correspond à 3,49 % de la richesse floristique de la zone et à 20,73 % de la richesse des espèces de bois d'œuvre de la côte d'Ivoire qui s'élève à 82 espèces. L'ensemble de ces espèces de bois d'œuvre inventoriées se répartissent au sein de 3 catégories en fonction de leur qualité technologique. On compte 11 espèces de la catégorie P1 qui désigne les espèces couramment commercialisées. Cette richesse correspond à 28,95

% de la catégorie P1. On rencontre dans cette catégorie des espèces telles que *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (Figure 11), *Morus mesozygia* Stapf ex A.Chev., *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Warb et *Milicia regia* (A.Chev.) Berg. La catégorie P2 ou espèces sporadiquement commercialisées compte 2 espèces à savoir *Albizia ferruginea* (Guill. & Perr.) Benth (Figure 12) et *Bombax buonopozense* P. Beauv. Elles représentent 11,11 % de la richesse de cette catégorie estimée à 18 espèces. On a finalement la catégorie P3 ou espèces à promouvoir avec 4 espèces équivalant à 15,38% de la richesse de cette catégorie. Les espèces telles que *Pterocarpus santalinoides* DC (Figure 13), *Detarium senegalense* J.F.Gmel et *Sterculia tragacantha* Lindl rencontrées dans la zone d'étude appartiennent à cette catégorie.

Tableau 4. Liste des espèces de bois d'œuvre de la zone d'étude

No	Taxons	Famille	Catégorie Commerciale
1	*Afzelia africana* Sm. ex Pers.	Fabaceae	P1
2	*Antiaris toxicaria* Loes. var. africana C.C.Berg	Moraceae	P1
3	*Antiaris toxicaria* Loes. var. welwitschii C.C.Berg	Moraceae	P1
4	*Canarium schweinfurthii* Engl.	Burseraceae	P1
5	*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.	Malvaceae	P1
6	*Khaya anthotheca* (Welw.) C.DC.	Meliaceae	P1
7	*Milicia excelsa* (Welw.) Berg	Moraceae	P1
8	*Milicia regia* (A.Chev.) Berg	Moraceae	P1
9	*Morus mesozygia* Stapf ex A.Chev.	Moraceae	P1
10	*Pericopsis elata* (Harms) van Meeuwen	Fabaceae	P1
11	*Pycnanthus angolensis* (Welw.) Warb.	Myristicaceae	P1
12	*Albizia ferruginea* (Guill. & Perr.) Benth.	Fabaceae	P2
13	*Bombax buonopozense* P.Beauv.	Malvaceae	P2
14	*Amphimas pterocarpoides* Harms	Fabaceae	P3
15	*Detarium senegalense* J.F.Gmel.	Fabaceae	P3
16	*Pterocarpus santalinoides* DC.	Fabaceae	P3
17	*Sterculia tragacantha* Lindl.	Malvaceae	P3

***Catégories commerciales: P1** (espèces principales de meilleures qualités, couramment commercialisées), **P2** (espèces principales de moyenne qualité, sporadiquement commercialisées, **P3** (espèces principales de moindre qualité, à promouvoir)*



Fig. 11. Aperçu de Ceiba pentandra (L.) Gaertn (Malvaceae) / Catégorie: P1



Fig. 12. Aperçu de rameau feuillé de Albizia ferruginea (Guill. & Perr.) Benth (Fabaceae) / Catégorie: P2



Fig. 13. Aperçu d'un rameau fructifère de Pterocarpus santalinoides L'Hérit. ex DC. (Fabaceae) / Catégorie: P3

3.4 BIOMASSE ET STOCK DE CARBONE DES DIFFÉRENTS BIOTOPES

Les valeurs moyennes de biomasse totale des différents biotopes oscillent entre 3,15 ± 4,58 et 439,60 ± 182,12 t/ha respectivement pour les savanes arbustives à faible densité et les forêts galeries. Le taux de CO_2 équivalent de ces biotopes varie entre 5,77 ± 8,37 et 804,47 ± 333,29 t/ha respectivement pour les mêmes formations végétales.

Le domaine Mamadou SANGARE enregistre en moyenne une biomasse de 349,35±433,47 t/ha. Cette valeur correspond à une capacité de séquestration de CO_2 athmosphérique qui est de 639,31±793,26 t/ha.

3.5 VALEUR ÉCOLOGIQUE DES BIOTOPES

La pondération totale de la cotation utilisée pour l'évaluation de la valeur écologique des biotopes est de 60,5. Cette valeur correspond à la valeur écologique de la zone d'étude et donc à la pondération maximale. Pour les différents biotopes, la pondération totale varie de 57 à 11. Ces valeurs correspondent respectivement à 94,21 % et à 18,18 % de la pondération totale (Tableau V). La valeur écologique des biotopes identifiés varie donc entre 94,21 % et 18,18 % de la valeur écologique de la zone d'étude. Les forêts denses sèches enregistrent la plus grande valeur écologique de la zone d'étude soit 94, 21 % de la pondération totale. Cette formation a une très forte valeur écologique (Figure 14). Elles sont suivies des forêts galeries, de la mosaïque forêt claire/savane boisée et du stade_4 des jachères. Ces biotopes enregistrent respectivement 78,51 %; 71,90 % et 61,16 % de la valeur écologique totale. Ils présentent une forte valeur écologique. Les savanes arborées, le stade 3 des jachères (parcelles âgées) et le stade_2 des jachères (parcelles intermédiaires) enregistrent respectivement 58,68 %, 53, 72 % et 40,5 % de la valeur écologique totale. Ces biotopes disposent donc d'une valeur écologique moyenne. Quant aux parcelles d'anacardiers intermédiaires, aux savanes arbustives, aux anacardiers âgés et jeunes et aux savanes arbustives à faible densité,

leurs valeurs sont comprises 40,50 % et 21,49 % et enregistrent de ce fait une valeur écologique faible. Le stade_1 des jachères avec un taux 18,18 % est la seule formation végétale disposant d'une valeur écologique très faible.

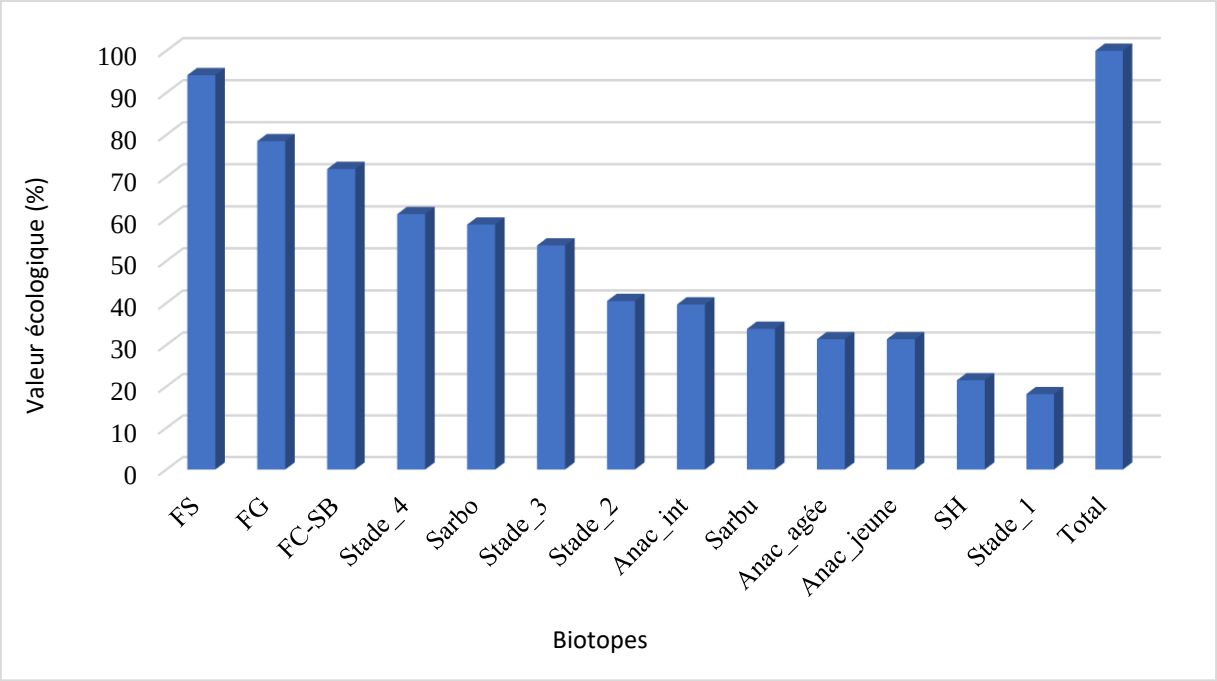


Fig. 14. Histogrammes des valeurs écologiques des différentes formations végétales.

Formations végétales

FS: *Forêt sèche,* ***FG:*** *Forêt galerie,* ***FC_SB:*** *Mosaïque forêt claire/savane boisée,* ***Sarbo:*** *Savane arborée,* ***Sarbu:*** *Savane arbustive,* ***SH****: Savane arbustive à faible densité,* ***Stade_1:*** *Stade 1 jachères jeunes,* ***Stade_2:*** *Stade 2 jachères intermédiaires,* ***Stade_3:*** *Stade 3 jachères âgées,* ***Stade_4:*** *Stade 4 jachères âgées,* ***Anac_jeune****: Anacardiers jeunes,* ***Anac_inter****: Anacardiers intermédiaires et* ***Anac_âgées****: Anacardiers âgées.*

Tableau 5. Pondération totale et valeur écologique des différents biotopes

Formations végétales	Richesse spécifique	Espèces endémiques	Espèces rares selon Aké-assi	Espèces menacées UICN	Taux équivalent de CO2	Nombre de Strates	Degré d'artificialisation	Similarité	Bois d'œuvre	Pondération totale	Valeur écologique
FS	3	4	5	5	4	5	5	5	20	57	94,21
FG	3	4	3	3	5	5	5	4	15,5	47,5	78,51
FC/SB	3	3	4	5	4	4	5	4	11,5	43,5	71,90
Sarbo	3	2	3	4	3	3	4	3	10,5	35,5	58,68
Sarbu	2	1	2	2	2	2	5	1	3,5	20,5	33,88
SH	1	1	1	0	1	2	5	1	1	13	21,49
Somme des pondérations										60,5	100

Formations végétales: FS: Forêt sèche, FG: Forêt galerie, FC/SB: Mosaïque forêt claire/savane boisée, Sarbo: Savane arborée, Sarbu: Savane arbustive, SH: Savane arbustive à faible densité,

4 DISCUSSION

7,14 % de la richesse floristique de la zone d'étude détient le statut d'espèces à valeur de conservation. Cette richesse englobe des espèces endémiques [21]; [22]; [23]; [24]. (Aké Assi, 2001, 2002; Holmgren *et al*., 2004; Poorter *et al*., 2004), des espèces rares et en voie d'extiction [25] ainsi que des espèces vulnérables et en danger [19]. La zone d'étude renferme donc un taux non négligeable d'espèces à valeur de conservation. La préservation de ces espèces surtout pour une zone en proie à l'emprise des pressions anthropiques au fil des années, comme la nôtre, est plus que nécessaire. En effet, selon [26] les espèces endémiques, rares et menacées d'extinction sont celles pour lesquelles les efforts de conservation doivent être prioritaires. Par ailleurs, le domaine Mamadou SANGARÉ qui ne représente que 0,88 % (464,02 hectares) de la zone investiguée (52660,8 hectares), comptabilise 80 % des espèces à valeur de conservation de cette zone. Ce domaine constitue donc un important

réservoir de la biodiversité en général et joue particulièrement un rôle primordial dans la conservation des espèces à statut particulier. La préservation d'un tel site serait un moyen efficace de lutte contre l'érosion de la biodiversité que connaissent le monde rural en général et la zone de Dianra en particulier. La valeur de biomasse totale moyenne la plus élevée obtenue dans le cadre de cette étude (439,60±182,12 t/ha) est supérieure à la valeur moyenne de biomasse des forêts tropicales de l'Afrique de l'Ouest (305 t/ha) et à celle de l'Afrique de l'Est qui est de 274 t/ha [27]. Le domaine Mamadou SANGARÉ enregistre une valeur moyenne de Biomasse (301,16±373,68 t/ha) très proche de la valeur moyenne des forêts tropicales de l'Afrique de l'Ouest et supérieure à celle des forêts de l'Afrique de l'Est. Le domaine bien qu'appartenant au secteur sub-soudanais dispose donc d'une capacité de séquestration identique à celles des forêts tropicales. Il joue donc un rôle prépondérant dans l'attétuanuation des effets du changement climatique et dans la régulation du climat régional. Ce domaine, s'il est préservé constituerait un atout important pour cette zone marquée par l'emprise des activités anthropiques, l'un des principaux facteurs des changements climatiques.

L'évaluation de la valeur écologique totale des biotopes montre qu'il existe une corrélation entre valeur conservatoire et naturalité comme exprimée par [16]. En effet, des écosystèmes forestiers, plus complexes, sont ceux qui enregistrent le plus d'espèces à valeur de conservation. Cette étude a également permis de constater que la végétation est capable de retrouver sa valeur écologique originelle après une période de culture.

5 CONCLUSION

La notion de valeur écologique est un concept très vaste. Son évaluation nécessite une méthodologie claire et universelle; d'où la nécessité de la présente étude qui illustre le processus d'évaluation de la valeur écologique. Ce processus comporte plusieurs étapes dont la définition de l'objectif d'évaluation, l'inventaire du milieu ou collecte des données, le choix des critères, la cotation des critères, le calcul de la pondération par critère et de la pondération totale et enfin, l'évaluation de la valeur écologique du site. Le cas pratique du domaine Mamadou SANAGARE montre que les formations forestières plus denses et plus riches enregistrent une valeur écologique plus élevée comparativement aux formations savanicoles.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Monsieur SANGARÉ Mamadou, Directeur Général de la SOciété de DEveloppement des FORêts (SODEFOR) qui joue un rôle important dans la conservation de la Biodiversité et qui a permis que cette étude se réalise dans son domaine privé. Nous remercions également les institutions que sont: l'Organisation Non Gouvernementale (ONG) « SOS-Forêts » et le Laboratoire de Botanique de l'Université Félix HOUPHOUËT- BOIGNY qui ont été les canaux par lesquels nous avons eu cette opportunité.

REFERENCES

[1] C. Vittet, Valeurs écologique et économique d'un ancien site minier restauré, Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de Maître en environnement (M.Env.), centre universitaire de formation en environnement Université de SHERBROOKE, Montréal, Québec, Canada, 97p, 2011.

[2] L. Larrieu and P. Gonin, L'indice de biodiversité potentielle (IBP): une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue forestière française,* 6: 727-748, 2008.

[3] C. Y. Adou Yao, K. B. Kpangui, K. J. Kouao, L. M. D. Adou, B. T. A. Vroh and K. E. N'Guessan, Diversité floristique et valeur de la forêt sacrée Bokasso (Est de la Côte d'Ivoire) pour la conservation. *VertigO,* 13 (1): 1-15, 2013.

[4] K. A. D. Koffi, Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du parc national d'azagny (sud de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Systématique, Écologie et Biologie Végétales, Côte d'Ivoire, 234 p, 2016.

[5] A. E. N'Guessan, Diversité floristique et valeur de conservation d'une forêt privée à Ouahiéré dans le Département de Dianra (Nord-Ouest, Côte d'Ivoire). Mémoire de Master de Biodiversité et Valorisation des Écosystèmes, Laboratoire de Botanique, Université Félix HOUPHOUËT- BOIGNY, 47p, 2016.

[6] N. O. Yao, Z. R. Gouli Gnanazan, A. E. N'Guessan, M. Sangare and K. E. N'Guessan, Discrimination et caractérisation des stades de la reconstitution post-culturale: Cas du secteur sub-soudanais ivoirien, Département de Dianra, Nord-ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies,* 40 (3): 582-592, 2023.

[7] L. Nef, Fonctions, gestion, évaluation de l'environnement, Revue. Questions. Scientifiques. 148 (2): 145-164, 1977.

[8] P. Blandin, Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'écologie, Paris,* 17 (4): 215-307, 1986.

[9] T. Mrosek, Developing and testing a method for the analysis and assessment of multiple forest use from a forest conservation perspective. *Forest. Ecology. Manage,* 140: 65-74, 2001.

[10] J. Bardat, F. Bensettiti and X. Hindermeyer, Approche méthodologique de l'évaluation d'espaces naturels, exemple de l'application de la directive habitats en France. *Écologie,* 28 (1): 45-59, 1997.
[11] B. T. A. Vroh, Y. C. Y. Adou, D. Kouamé, D. H. N'Da and K. É. N'Guessan, Diversités Floristique et Structurale sur le Site d'une Réserve Naturelle Volontaire à Azaguié, Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research,* 45 (3): 411-421, 2010.
[12] Hawthorne D. W., Guide de terrain pour les arbres des forêts denses de la Côte d'Ivoire et pays limitrophes. Ecosyn, Wageningen (Hollande), 276p, 1996.
[13] Lebrun J.P. & Stork A. L., Énumération des plantes à Fleurs d'Afrique Tropicale. Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève, Genève (Suisse), (1), 249p, 1991.
[14] Lebrun J.P. and Stork A. L., Énumération des plantes à Fleurs d'Afrique Tropicale. Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève, Genève (Suisse), (4), 711p, 1997.
[15] APG IV, An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society,* 161: 1-20, 2016.
[16] G. Du Bus de Warnaffe and F. Devillez, Quantifier la valeur écologique des milieux pour intégrer la conservation de la nature dans l'aménagement des forêts: une démarche multicritères. *Annals of forest science,* 59: 369-387, 2002.
[17] M. E. Dion, N. Dubé and J. Simard, Revue de littérature sur les différentes méthodes de caractérisation de paysages forestiers. Conférénce régionale des élus Saguenay-Lac-Saint-Jean, 43 p, 2013.
[18] L. Aké-Assi, Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. Monographie Systématique Botanique. *Missouri Botanical Garden,* 25: 461-463, 1988.
[19] UICN, IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org>. Date de consultation: 15 Juillet 2018.
[20] L. Aké-Assi, Impact de l'exploitation forestière et du développement agricole sur la conservation de la biodiversité biologique en Côte d'Ivoire. *Le flamboyant,* 46: 20-21, 1998.
[21] L. Aké-Assi, Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue, systématique, biogéographie et écologie. Genève, Suisse: Conservatoire et Jardin Botanique de Genève (Suisse), *Boisseria* 57, 396 p, 2001.
[22] L. Aké-Assi, Flore de la Côte d'Ivoire 2, catalogue, systématique, biogéographie et écologie. Genève, Suisse: Conservatoire et Jardin Botanique de Genève (Suisse); *Boisseria* 58, 441 p, 2002.
[23] M. Holmgren, L. Poorter, A. Siepel, C. Chatelain, L. Gautier, W. D. Hawthorne, A. T. F. Helmink, C. C. H. Jongkind, H. J. Os-Breijer, J. J. Wieringa and A. R. Van Zoest, Ecological profiles of rare and endemic species. In: Poorter L., Bongers F., Kouamé F. N'., Hawthorne W. D. (éd.). Biodiversity of West African Forest. An ecological atlas of woody plants species, *Centre for Agricultural Bioscience International Publishing,* Wallingford, Royaume-Uni, 101-389, 2004.
[24] L. Poorter, F. Bongers, F. N. Kouamé and W. D. Hawthorne, Biodiversity of West African Forests: An Ecological Atlas of Woody Plant Species. Centre for Agriculture and Bioscience International Publishing, Nederland, Pays-Bas, 521 p, 2004.
[25] L. Aké-Assi, Flore de la Côte d'Ivoire: Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 1206 p., 1984.
[26] N. Myers, R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. Da Fonseca and J. Kent, «Biodiversity hotspots for conservation priorities». *Nature,* 403: 853-858, 2000.
[27] S. L. Lewis, B. Sonké, T. Sunderland, S. K. Begne, G. Lopez-Gonzalez, G. M. Van Der Heijden and J. F. Bastin, Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. Philosophical Transactions of the Royal Society B. *Biological Sciences,* 368 (1625): 20120295, 2013.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 988-1002
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Availability and Traditional Uses of Some Plant Species in the Tanoe-Ehy swamp forest (FMTE), Southeastern Côte d'Ivoire

Abrou N'Gouan Emmanuel-Joël[1], Ouattara Mevanly[1], and Pagny Franck Placide Junior[2]

[1]Laboratoire des Milieux naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Laboratoire Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche en Environnement, Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Tanoe-Ehy swamp forest (FMTE) has been identified as a high-priority site for primate conservation in West Africa. In addition to a lack of knowledge of the plant communities, the site is subject to pressure from local populations both on the periphery and in the interior. The aim of this ethnobotanical study is therefore to determine the uses made of the plant species collected by the local populations. To achieve this, ethnobotanical surveys were carried out in seven localities on the outskirts of the forest. Generally speaking, direct interviews with local people enabled us to identify the techniques and practices used to plant crops and the plants harvested in the study area. A total of 160 people were interviewed, most of them male farmers. The survey showed that most of the plantation land had been acquired by inheritance and had been established on forest land. Monocultural plantations are the most abundant in the study area. It is worth noting that the preferred place for collecting plants is within the FMTE. Most of the plant species collected are used for traditional medicine. They include *Landolphia membranacea, Tabernaemontana crassa, Combretum aphanopetalum, Parquetina nigrescens, Microdesmis keayana, Alchornea cordifolia,* and *Strophanthus hispidus* with a rarity index of less than 80%. Given the importance of the FMTE in terms of a particular ecosystem and biodiversity conservation, it is desirable and urgent that, in addition to awareness campaigns for local populations, the process of its definitive classification be accelerated to put an end.

KEYWORDS: Wetlands, swamp forest, ethnobotanical survey, Tanoe-Ehy swamp forest, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

The Tanoe-Ehy Swamp Forest (FMTE) is a swamp forest covering an area of 12,000 hectares, in line with the dynamics of the creation of a voluntary nature reserve (RNV). Identified in 2004 by the Research and Actions for the Conservation of Primates in Côte d'Ivoire (RASAP-CI) program, it was recognized as a site of high conservation value [1]. It is one of the last refugee for three critically endangered monkey species on the IUCN Red List: the Roloway monkey (Cercopithecus diana roloway), the Diana monkey (Cercocebus atyslunulatus), and the Miss Waldron's red colobus (Piliocolobus badius waldronae) according to [2]. This wetland is one of the last remnants of its kind. In 2006, the process of declaring it a Voluntary Nature Reserve (VNR) began.

The FMTE is an important natural resource for the surrounding local population. However, demographic growth and a lack of arable land have led to increased deforestation around the FMTE, threatening biodiversity conservation and sustainable development in the region in the medium term. While awaiting its official designation as part of the rural domain, the FMTE faces numerous pressures from nearby communities, with the establishment of numerous perennial crops (oil palm, cocoa, rubber, etc.) and food crops (plantain, cassava, etc.), reducing its area. The result is the transformation of these forest ecosystems into large plantations of perennial crops, some of which are owned by villagers and others by the Industrial Palm Plantation of Côte d'Ivoire (PALMCI), an agro-industrial unit that produces palm oil [3]. All these threats threaten the sustainability of the habitats that make up the FMTE site. It is also subject to fishing activities during the rainy season.

In 2016, an agroforestry support project was launched to help protect and conserve the environment in the long term, primarily for the benefit of the rural population. The aim of this study is to master the management of the FMTE and its surrounding area, leading to the implementation of an integrated rural development project. Although difficult to access, the FMTE is in the process of being steadily degraded. Its plant resources are heavily exploited by neighbouring rural populations. As a result, research into the causes of this anarchic and continuous exploitation of the flora of the future RNV by rural populations is a priority in order to better safeguard its biodiversity through effective participatory management [4]. It is in this context that an ethnobotanical study was carried out in the FMTE area in order to identify the cultivation practices carried out and to determine the uses made of the plant species collected by the local populations.

2 METHODOLOGY

2.1 STUDY SITE

The climate in the Department of Tiapoum, where FMTE is located, is subequatorial or equatorial and is characterized by four seasons: a major dry season from December to February, a major rainy season from March to July, a minor dry season in August, and a minor rainy season from September to November. FMTE experiences abundant rainfall, generally with an average annual precipitation between 1400 mm and 1600 mm [5]. Temperatures vary between 22°C and 30°C. The average temperature is 26°C. Temperatures are highest in April and August. The soil of the Tanoe-Ehy swamp forest (FMTE) belongs to the subclass of highly denatured ferralitic soils of granitic or schistose type [6], with a high water-holding capacity [7]. The forest is covered with evergreen swamp vegetation on hydromorphic soils. The swamp forests are flooded most of the year. In the periphery, there are several perennial crops such as cocoa plantations, oil palm groves, coffee plantations, etc [8].

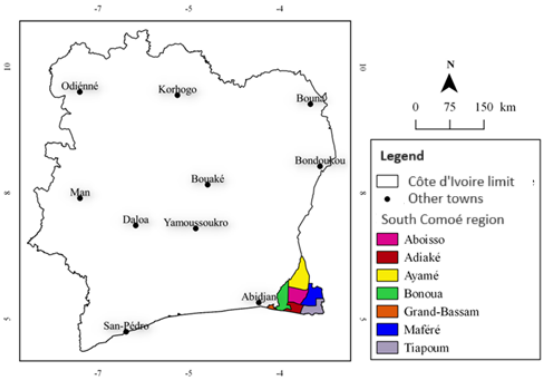


Fig. 1. Geographical location of the Sud-Comoé region in Côte d'Ivoire

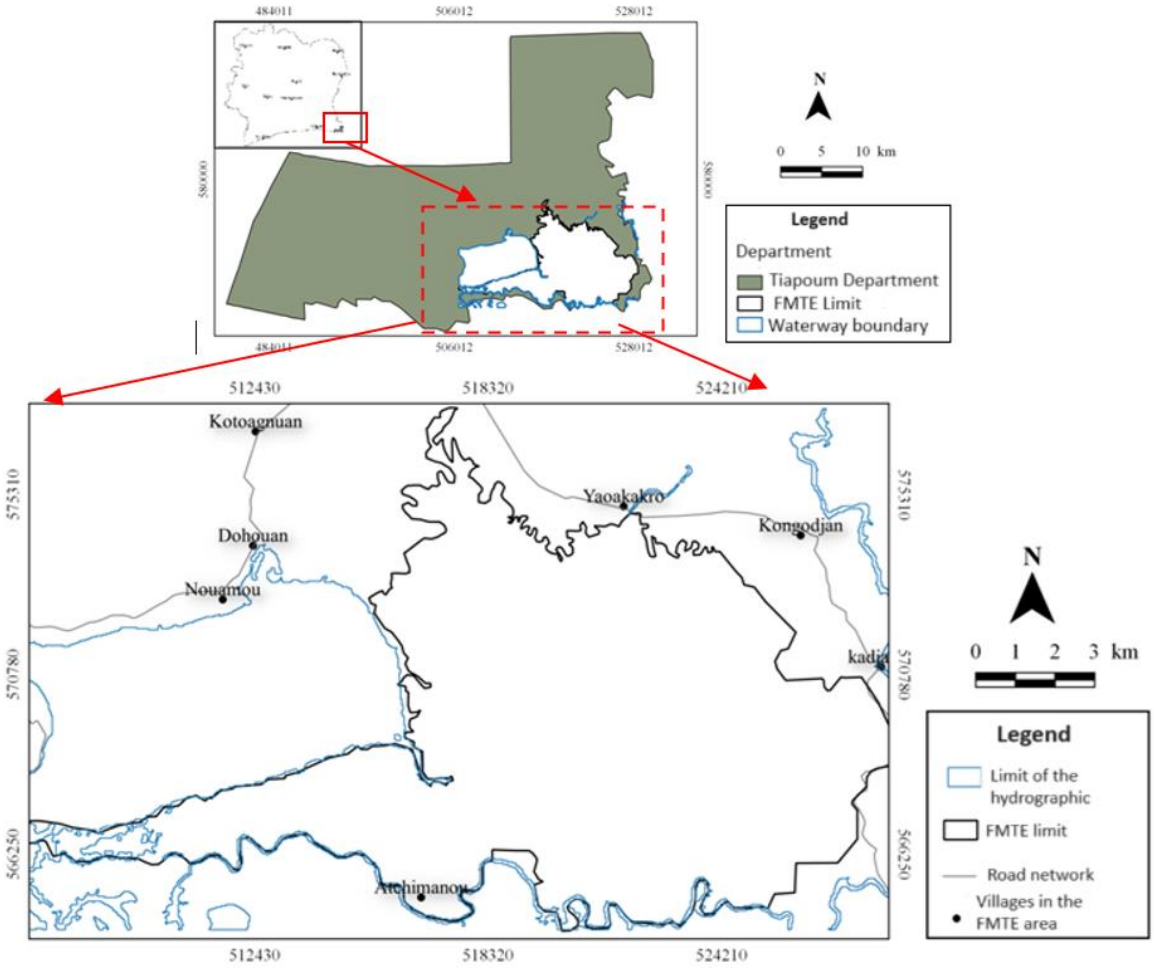


Fig. 2. Location Maps of the Tanoe-Ehy Swamp Forest (FMTE)

2.2 SURVEYS ON THE USE OF PLANT SPECIES BY LOCAL PEOPLE

Ethnobotanical surveys were conducted in seven localities located on the periphery of the FMTE: Atchimanou, Nouamou, Dohouan, Kotoagnuan, Yaoakakro, Kongodjan and Kadjakro. The selection of these sites was based on an assessment of the importance of the forest to the local population and the impact that these neighboring populations have on the dynamics of the FMTE. Direct interviews with the local population (Figure 3) helped to identify the agricultural practices used to establish crops. First, questions were asked about the profile of the farmers. To this end, a questionnaire was administered individually to farmers in the relevant localities of the study to describe various criteria, including origin, gender and age of farmers, level of education, modalities of access to land, and membership in a cooperative or support structure. Subsequent interviews focused on the plant species they harvest in the FMTE and the purposes for which they use them (Fig.3).Six main types of uses were considered in this study: food, medicinal, timber, shade, artisanal, and Building. For each species used, information on where preferred to harvest was collected. With regard to plantations, questions focused on parameters such as size, age, previous harvests, and crop varieties used by the farmers, among others. The age of the plantations was classified in 5-year intervals. For the size of the plantations, due to the relatively small proportion of plantations in this area, the classification was done with intervals of two hectares. The questionnaire was administered to 160 farmers. Five types of land use were identified in the study [8]: cultivated, fallow, upland forest, temporarily flooded forest, and permanently flooded forest.



Fig. 3. Photographic view of a discussion session on the traditional use of a plant

2.3 ANALYSIS OF SURVEY DATA

In this study, farmers' profiles were determined by analyzing survey data using statistical methods, including box plot analyses. The characterization of plantations around the FMTE was conducted through univariate and multivariate analyses. To achieve this, the relationships between various plantation parameters (plantation age, plantation size, previous crops, inputs, etc.) mentioned by the respondents and the localities were examined using Chi-square tests. This was done to ascertain whether these parameters constitute key determinants in the typology of these plantations.

Additionally, the availability of species for traditional use was assessed using the rarity index, calculated based on the equation proposed by [9]. This index is calculated according to the following formula:

$$Ri = [1 - (ni / N)] \times 100$$

In this equation, Ri is the rarity index of a species i, ni is the number of plots where it occurs, and N is the total number of inventoried plots. According to [10], species with a rarity index of less than 80% are considered preferred, very common, and abundant in the study areas. Species with a rarity index greater than 80% are considered rare and therefore highly endangered in the area. This index was used by [11] in Côte d'Ivoire, [10] and [12] in Togo.

2.4 STATISTICAL METHODS FOR DATA ANALYSIS

In some cases, one-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare sample means and indices calculated for different groups of inventoried habitats. Whenever the calculated probability was significant, the Tukey test was used to compare pairwise means and assess significant differences between them. In other cases where the conditions for ANOVA were not met, the non-parametric Kruskal-Walli's test was used. In such cases, the Dunn test was used to compare pairwise means and to determine whether significant differences existed.

In this study, the chi-squared test was used to test the existence of relationships between data obtained from the surveys conducted (plantation size, age of plantations, method of land acquisition, previous crops, etc.) in different locations. The selected significance level for these analyses was set at 5% ($p = 0.05$).

The Mann-Whitney (U) test, a non-parametric test, was used to compare two independent samples with small sample sizes that do not meet the "normality" condition (the shape of the distribution does not follow a bell curve or Gaussian distribution). This test is primarily used for ordinal variables. In this study, it was used to compare the means of the "gender" and "level of supervision" variables across sites.

Box plots or box-and-whisker plots were used to summarize key characteristics of the variable under study (median, mean and standard deviation, quartiles, minimum and maximum). This graphical representation was primarily used to compare the same variable across populations of different sizes and locations.

Multiple Correspondence Analysis (MCA) was used to illustrate the distribution of different plantation groups based on survey data. MCA is a multivariate technique used to analyze relationships between categorical variables and to visualize patterns in the data.

These statistical methods provided a robust framework for analyzing and interpreting the diverse data collected in this study, allowing for a comprehensive understanding of the relationships and variations within the surveyed parameters across different locations and groups.

3 RESULTS

3.1 SOCIO-DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE POPULATIONS SURVEYED AND CROPPING PRACTICES

3.1.1 RESPONDENT PROFILE

A total of 160 individuals were interviewed across seven villages, with varying distribution among them: Atchimanou (20 individuals), Dohouan (27 individuals), Kadjakro (24 individuals), Kongodjan (24 individuals), Kotoagnuan (24 individuals), Nouamou (23 individuals), and Yaoakakro (21 individuals). An analysis of the distribution of farmers based on their origin revealed differences among natives, allochthones, and allogenes. Natives were the most numerous, averaging 12.4 ± 5.3, while non-natives were the least numerous, with an average of 4.1 ± 4.4 individuals (Fig. 4). Of all respondents, 2.48% were female, and 97.52% were male, with an average of 22.3 ± 1.4 males per site (Figure 5). The mean age of respondents per site was 38.9 ± 10.4 years, predominantly falling between 31 and 44 years according to box plot analysis. The Mann-Whitney test confirmed significant differences between the number of women and men (Fig. 6). Education levels varied across localities, with 54% of farmers reporting attendance at school, and 46% being illiterate. Respondents who attended school up to secondary level were the least numerous, with an average of 3 ± 2 individuals per locality. Illiterates were the most numerous, averaging 10.4 ± 3.1 people per locality. The Kruskal-Wallis test indicated significant differences in education levels (Fig. 7). Married individuals were the majority in the visited localities, with an average of 21.1 ± 2.6 per site, while widows were the least numerous, with an average of 0.3 ± 0.5 per site. The Kruskal-Wallis test showed significant differences in the marital status of respondents (Fig. 8).

In terms of plantation establishment, the majority of respondents did not benefit from supervision. Unsupervised individuals were the most numerous in the localities, with an average of 21.6 ± 1.4 (Fig. 9).

3.1.2 CULTURAL PRACTICES

In the study area, four methods of land acquisition were identified: purchase, inheritance, donation, and sharecropping. Sharecropping involves sharing either the harvest or the cultivated area between the owner and the worker. The predominant method among these was inheritance (Fig. 10), ranging from 33.3% in Kotoagnuan to 85.7% in Kadjakro. Conversely, purchase was the least mentioned method, with proportions ranging from 4.3% in Nouamou to 16.7% in Kongodjan.

Additionally, three previous cultivation practices were mentioned by all the farmers surveyed in the study area (Fig. 11). Most plantations in the study area were established following clearing (62.5%). On the other hand, those originating from old plantations represented the lowest proportion (13.75%). Furthermore, forests in the study area served as the main previous cultivation practice in the localities of Kadjakro and Atchimanou, accounting for 81% and 80% of cases, respectively

Forests also served as previous cultivation practices in the localities of Kongodjan and Kotoagnuan, where they accounted for 45.8% of cases each. The Chi-square test revealed a relationship between the locality and the previous cultivation practice ($\chi 2 = 13.37$; $p < 0.05$). Two types of plantations were distinguished from the survey analysis: monocultures (cocoa, palm, rubber and coconut trees) and mixed cropping (cocoa-palm, cocoa-coconut, etc.). Among the respondents, 71.25% reported having plantations in monoculture, compared to 28.75% in polyculture, such as cocoa-coconut, palm-rubber, etc. (Fig.12). The age of the plantations of the owners interviewed ranged from 2 to 63 years, according to their statements. The distribution of plantations by age groups showed that plantations over 25 years old accounted for more than 32.5% of the plantations in the study area (Fig.13). The Chi-square test showed that there was a relationship between the distribution of plantations by age groups and the localities ($\chi 2 = 46.047$; $p < 0.05$). The areas of the plantations in the study area ranged from 0.5 to 24.5 ha. The area class between 0.5 and 2 ha included the largest number of plantations (38.13%), while the class over 8 ha included the smallest number of plantations, i.e. 3.13% (Fig.14).

In the different localities, the plantations with an area ranging from 0.5 to 2 hectares are the most significant. The Fisher's exact test on the contingency table indicates that there is a relationship between the localities and the sizes of the plantations ($\chi 2 = 53.15$; $p < 0.05$).

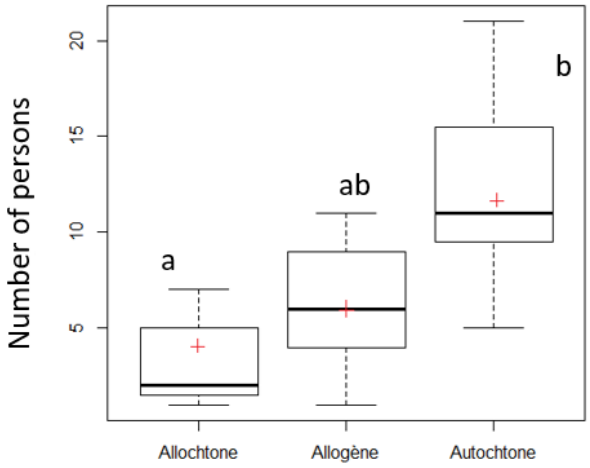


Fig. 4. Origin of farmers in the localities Kruskas Wallis test: K = 8, 33; p = 0.016

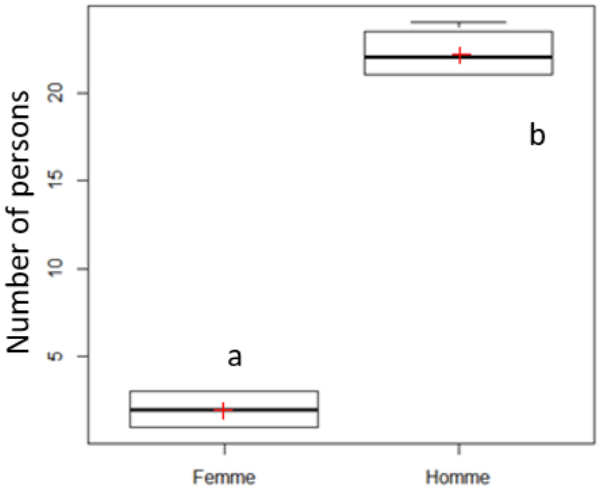


Fig. 5. Gender of farmer in localities Mann-Withney test: U = 14.5; p = 0.042

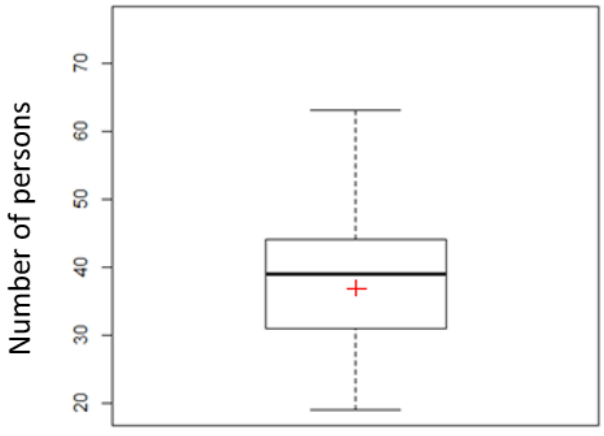


Fig. 6. Number of people of the age variable of farmers in localities

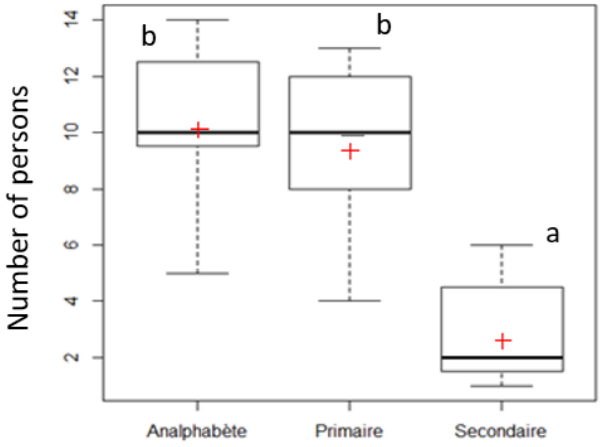


Fig. 7. Level of education of farmers in Kruskas Wallis test: (K = 11,59; p = 0,003)

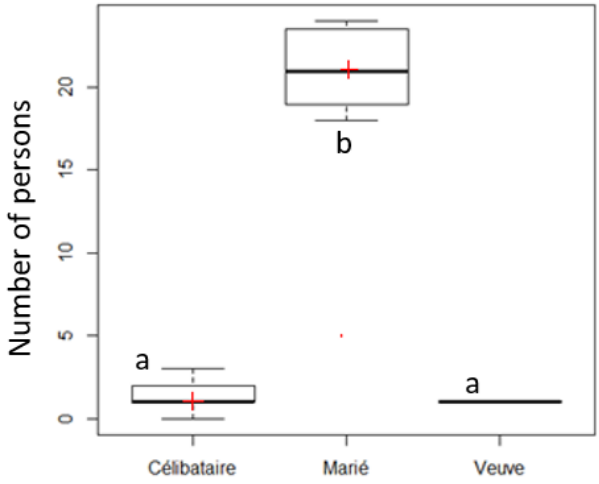


Fig. 8. Marital status of farmers in localities Kruskas Wallis test: (K = 11,62; p = 0,003)

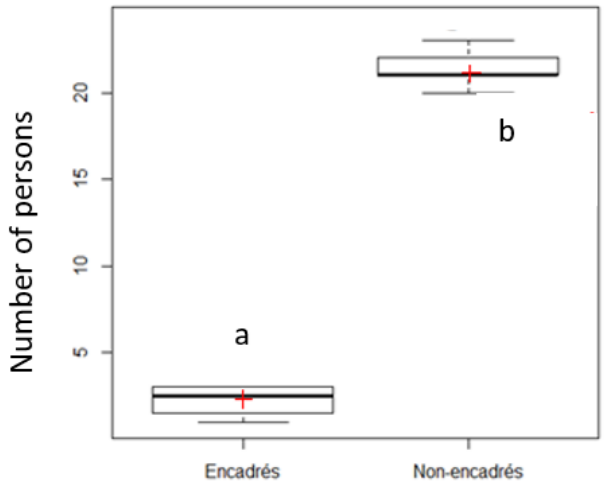


Fig. 9. Level of supervision of farmers in localities, Mann-Withney: U = 28,1; p = 0,009)

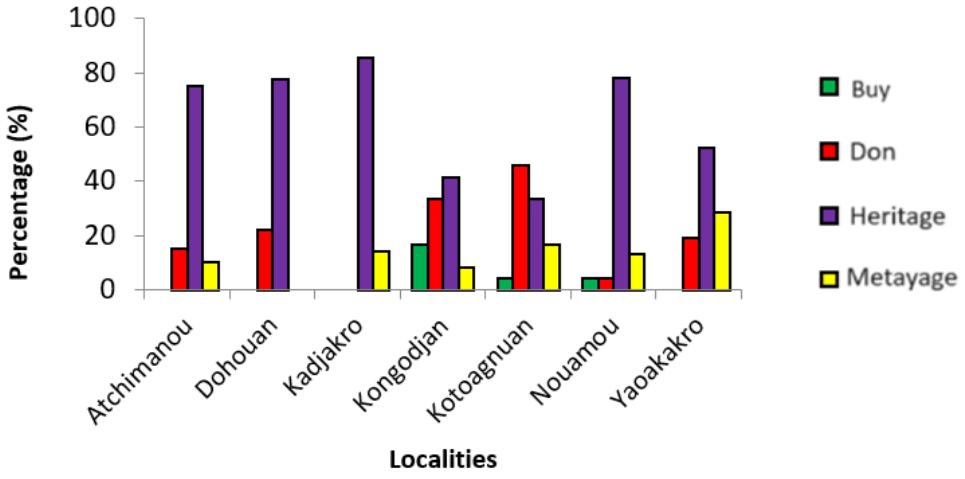


Fig. 10. Histograms of land acquisition methods in different localities

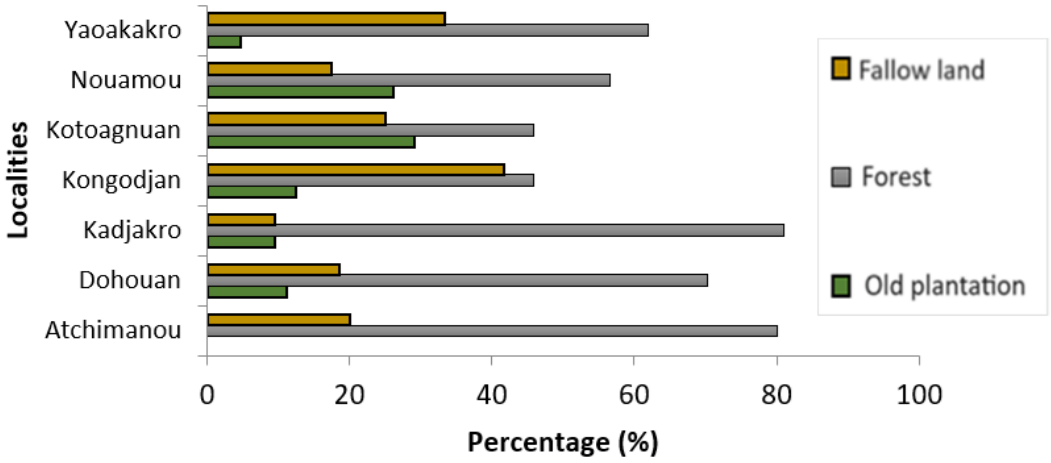


Fig. 11. Histograms of previous crops in different localities

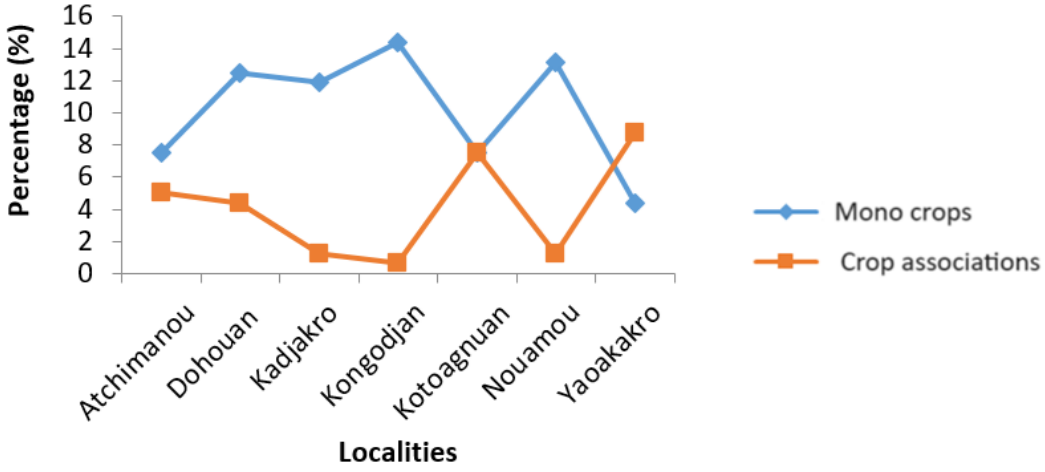


Fig. 12. Histograms of crop types in different localities

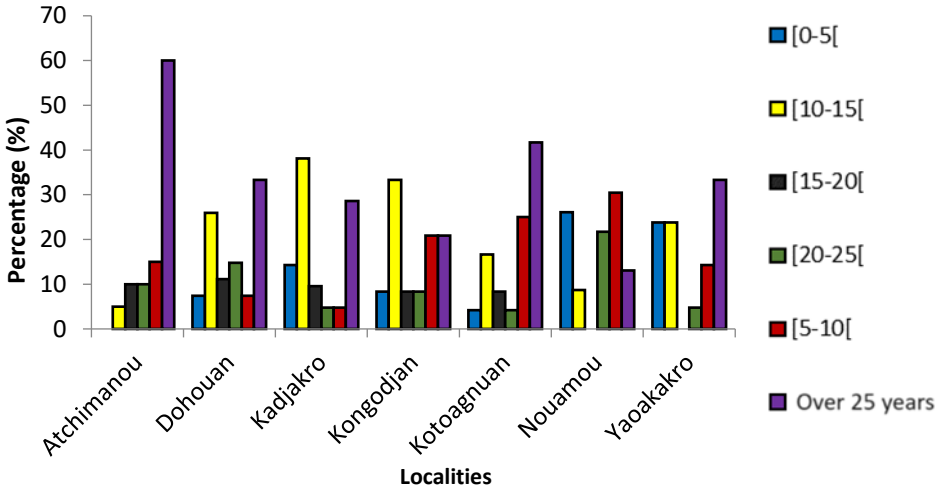


Fig. 13. Histograms of age classes of plantations in different localities

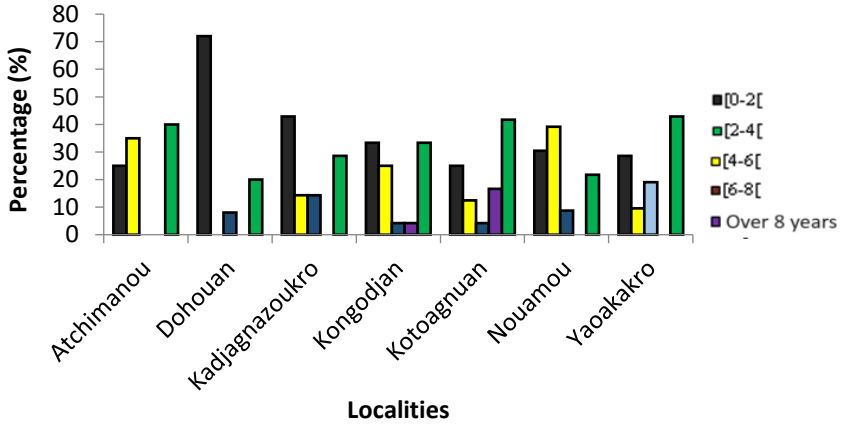


Fig. 14. Distribution of plantation areas in different localities

3.1.3 TYPOLOGY OF FMTE PLANTATIONS

The variables that distinguished the plantation groups were: previous crop, area, age of the crop, and type of crop. The first two axes of the Multiple Correspondence Analysis (MCA) explained 39.40% of the variance (Figure 17). Three groups of plantations emerged based on the distribution of these variables.

According to the analysis of the MCA factorial map, axis 1 differentiated plantations established in forest from those established in fallow land. On the positive side of axis 1, there were large-scale oil palm and coconut plantations, over 25 years old, usually installed on former plantations. The plantations in this group (P1), which had areas exceeding 8 hectares, were mainly located in the localities of Dohouan, Nouamou, and Kotoagnuan. On the negative side, there were cocoa plantations in the localities of Atchimanou and Kadjakro, representing group P2, as well as mixed crops such as (oil palm-coconut, cocoa-coconut) in the localities of Kongodjan and Yaoakakro.

Axis 2 contrasted monoculture plantations (cocoa, oil palm, and coconut) with mixed crops (cocoa-oil palm, cocoa-coconut, oil palm-coconut, and coffee-oil palm) present in the localities. On the positive side of the axis, the plantations in group P3 were generally composed of mixed crops such as oil palm-coconut, coffee-oil palm, and cocoa-coconut. These plantations had an age ranging from zero to five years, with fallow land as the previous crop. On the negative side of the axis, there were monoculture plantations of cocoa and oil palm.

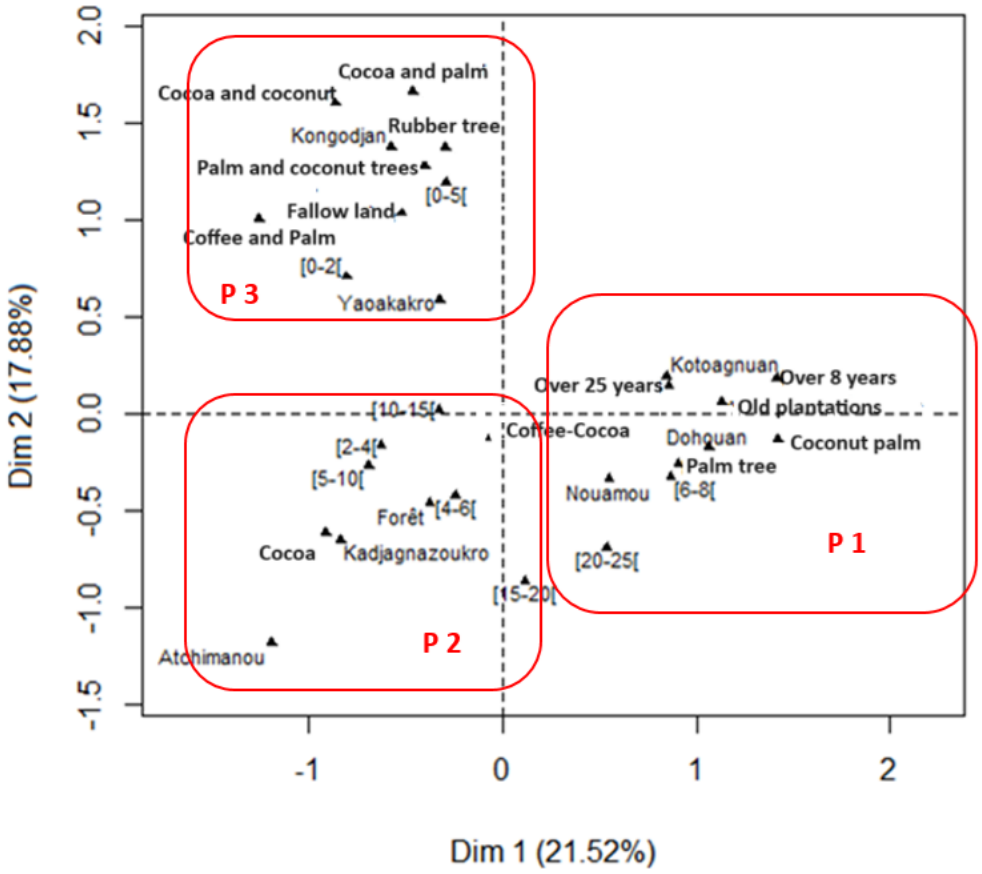


Fig. 15. Factor map of the order of plantation types in FMTE

3.2 Harvesting Sites Of Local Use Species

After analyzing the survey data, five sources of supply were reported by the respondents. The Tanoe-Ehy Swamp Forest remains the primary source of local species supply for the local population, with a citation frequency of 52.2% (Table 1). At this level, forests on firm ground were the most significant source of supply for the populations, with a citation frequency of 26.56%. Temporarily flooded forests followed firm ground forests with a citation rate of 18.75%. Permanently flooded forests were mentioned as the least cited source of supply for locally used species. The peripheral zone of the Tanoe-Ehy Swamp Forest was identified as a secondary supply source with a proportion of 46.87% (Table 1). Plantations and fallow lands adjacent to the Tanoe-Ehy Swamp Forest were considered other sources of supply for locally used species, with citation rates of 21% and 9%, respectively.

Table 1. Source of supply of species for traditional use in space

Area FMTE	Sample location	Number of species	Percentage (%)	Total percentage (%)
Peripheral area	Culture	22	34,37	47,8
	Fallow	11	17,18	
FMTE	Upland forest	17	26,56	52,2
	Temporarily flooded forest	12	18,75	
	Permanently flooded forest	7	10,93	
	General total	**64**		100

3.3 Species Use

The populations have utilized the species for six categories of use: food, craftsmanship, traditional medicine, Building, timber, and shading (Fig. 18). Traditional medicine constituted the primary use of species by the populations in the study area, with a citation frequency of 50%. The least practiced use was the utilization of species as timber, with a citation frequency of 3.1%.

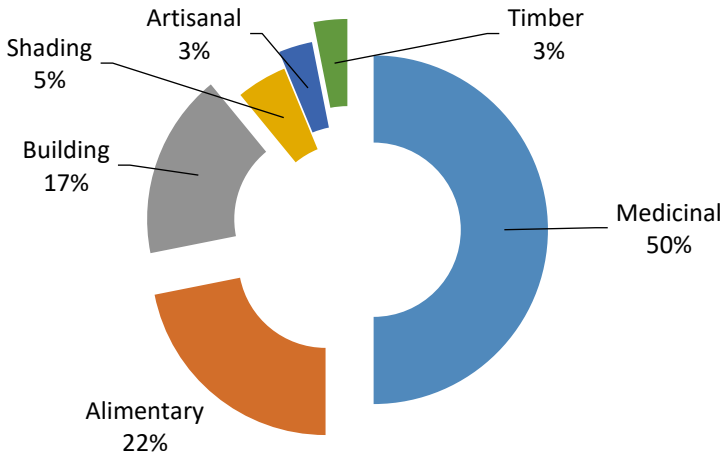


Fig. 16. Spectrum of different uses of species harvested by local populations

3.4 AVAILABILITY OF THE SPECIES CITED IN THE DIFFERENT INVENTORY SITES

The FMTE area is home to a variety of plant species, some very common and plentiful, and others scarcer. Out of the species recorded, 29 have a traditional medicinal use in the FMTE. Seven of these species (*Landolphia membranacea, Tabernaemontana crassa, Combretum aphanopetalum, Parquetina nigrescens, Microdesmis keayana, Alchornea cordifolia* and *Strophanthus hispidus*) have a rarity index below 80%. The rest of the species have a rarity index between 80 and 97.7%. For instance, Garcinia kola has a rarity index of 82.2% in the FMTE and 83.3% in the peripheral areas. The species used for food are eight, regardless of the area. *Irvingia gabonensis* is the only species that has a rarity index below 80% in the habitats of the FMTE (Figure 19). It is highly valued by the local populations for the quality of its fruit. However, it is not available in the peripheral areas of the FMTE, with a rarity index of 81.3%. *Ricinodendron heudelotii,* whose fruits are used as condiments, has a rarity index above 80% in both types of spaces. Regarding the timber and Building species, 15 species were identified. Among them, five (*Ficus trichopoda, Raphia hookeri, Elaeis guineensis, Hallea ledermanii* and *Borassus aethiopum*) are used in the Building of roofs, chairs, etc. These species have a rarity index below 80% in the FMTE. *Raphia hookeri* and *Elaeis guineensis* are highly sought after by the local populations, because their sap is used as an alcoholic drink, called "Bandji" for E. guineensis and "Doka" for R. hookeri. These species are nearly impossible to find in the peripheral areas, with rarity indices above 80%. The timber species are eight: *Piptadeniastrum africanum, Tarrietia utilis, Milicia regia, Milicia exelsa, Terminalia ivorensis, Tieghemella heckelii, Entandrophragma angolense* and *Triplochiton scleroxylon*. Only *Entandrophragma angolense* has a rarity index below 80%. The other species have rarity indices above 80%. In the field of handicraft, six species were cited by the populations. Alstonia boonei, whose trunk is used for sculpture, has a scarcity index above 80% in both spaces. *Ricinodendron heudelotii* is also used for sculpture, with scarcity indices below 80% in both types of spaces. The leaves of *Thaumatococcus daniellii* are used as packaging for local products. This species has a scarcity index below 80% in the FMTE. Elaeis guineensis is the only species that has a use in three domains: food, medicinal and handicraft. In the handicraft domain, its leaves are used to make brooms (Table 2).



Fig. 17. View of a woman breaking Irvingia gabonensis fruit from the FMTE space

Table 2. List of traditionally used species and their rarity index in the FMTE area

			Rarity index (%)	
Scientific name	**Use**	**Part used**	**FMTE**	**Peripheral area**
Alchornea cordifolia	Medicinal	Leaf	78,6	11,2
Alstonia boonei	Medicinal/ Artisanal	Leaf/ Trunk	89,2	88,2
Anchomanes difformis	Medicinal	Root	81,2	99,2
Bambusa vulgaris	Medicinal/ Building	Leaf/ Chaume	82,1	63,2
Baphia nitida	Medicinal/ Artisanal	Leaf/ Trunk	89,2	97,7
Borassus aethiopum	Building / Alimentary	Leaf/ Fruit	79,2	55,2
Calamus deërratus	Building	Leaf	84,6	97,7
Cecropia peltata	Shading	Leaf	96,2	42,3
Chromolaena odorata	Medicinal	Leaf	97,7	20,4
Cola nitida	Alimentary	Fruit	96,2	75,3
Combretum aphanopetalum	Medicinal	Leaf	54,6	98,5
Culcasia angolensis	Medicinal	Fruit	86,2	98,7
Dacryodes klaineana	Alimentary	Fruit	63,1	63,1
Elaeis guineensis	Alimentary/Medicinal/ Artisanal	Fruit, sap, seeds/ Roots/ Leaf	74,2	36,5
Entandrophragma angolense	Timber/ Medicinal	Trunk/ Bark	96,9	32,3
Ficus trichopoda	Building	Trunk	36,1	98,5
Garcinia kola	Medicinal	Fruit	82,2	87,3
Hallea ledermanii	Building	Trunk	73,1	92,3
Hypselodelphys violacea	Medicinal	Leaf	90,0	99,4
Irvingia gabonensis	Alimentary	Fruit	39,5	81,3
Khaya ivorensis	Medicinal	Bark	89,3	96,3
Landolphia membranacea	Medicinal	Leaf	36,1	83,2
Microdesmis keayana	Medicinal	Root	76,5	19,4
Milicia excelsa	Building	Trunk	93,1	94,6
Milicia regia	Building	Trunk	81,4	89,1
Morinda morindoides	Medicinal	Leaf	96,2	43,5
Nauclea diderrichii	Building	Trunk	86,2	90,8
Nauclea xanthoxylon	Medicinal	Bark	93,8	78,2
Parquetina nigrescens	Medicinal	Seed	74,4	25,4
Paullinia pinnata	Medicinal	Leaf	82,3	91,1
Piper guineense	Medicinal	Fruit	80,0	99,2
Piptadeniastrum africanum	Timber	Trunk	93,8	96,2
Psidium guajava	Alimentary	Fruit	82,7	99,2
Pterocarpus erinaceus	Medicinal	Bark	90,1	89,4
Pycnanthus angolensis	Shading	Leaf	94,6	23,4
Raphia hookeri	Building	Leaf	68,5	95,4
Rauvolfia vomitoria	Medicinal	Leaf	96,2	31,3
Ricinodendron heudelotii	Alimentary/ Artisanal	Fruit/ Trunk	93,8	86,9
Scleria depressa	Medicinal	Root	89	99,2
Spondias mombin	Alimentary	Fruit	63,1	65,4
Strophanthus hispidus	Medicinal	Root	79,3	96,3
Tabernaemontana crassa	Medicinal	Leaf	36,5	28,2
Tarrietia utilis	Building	Trunk	87,8	82,3
Terminalia ivorensis	Building	Trunk	95,2	93,1
Tetracera alnifolia	Medicinal	Stem	90,0	98,4
Thaumatococcus daniellii	Artisanal/ Medicinal	Leaf/ Fruit	82,0	23,2
Tieghemella heckelii	Building	Trunk	81,5	96,9
Tiliacora dinklagei	Medicinal	Stem	90,4	99,2

Tricalysia pallens	Artisanal	Stem	99,2	25,4
Triplochiton scleroxylon	Timber/ Medicinal	Trunk/ Bark	82,6	98,5
Xylopia aethiopica	Medicinal	Fruit	81,1	80,4

4 DISCUSSION

4.1 FARMING PRACTICES OF FMTE AREA POPULATIONS

Palm and cocoa are the main crops grown in the study area. The average age of farm managers is 39, and 97.52% of them are men. This may be explained by the customary land laws of the main peoples in the study area. These laws favour men's right of access to land, since women, as members of the family, tend to marry in other localities. As a result, when the family's land holdings are divided up, only adult male heads of household are entitled to the land or farms they already own. The latter are responsible for their younger brothers, whom they use as labourers to maintain the farms. When the head of the family dies, the deceased's land holdings are retained by the eldest member of the patrilineage. But this practice, inherited from a time when land was not a source of wealth, is becoming increasingly unacceptable to the children of the deceased, who have worked to expand the plantations. [13], in south-west Côte d'Ivoire, showed that young city dwellers returning to their villages, who had hoped to set up their own farms, were forced to live under the dependence of their parents. In this study, over 54% of the farmers interviewed in the various localities had attended school, which means that only 46% were illiterate. The high rate of school attendance recorded in the study area can be explained by the return to the land of young people who have dropped out of school. This return is often due to the death of the family member who provided the schooling. This is also the case in our study area. It also often happens that the pupil is obliged to look after the family farm if the father dies, especially when the father is the eldest in the family or the first male. The high proportion of literate people may also be linked to the return of some retired people to farming. This observation has already been made by [14] and [15]. They may also be civil servants (nurses, teachers, sub-prefects, etc.) assigned to rural areas who are interested in agriculture because of the additional foreign currency they can earn. However, even if the illiteracy rate in the study area is lower than the national average of 56.4%, as indicated by [15] in agricultural areas of Côte d'Ivoire, it is still negligible. This situation can be explained by the very isolated location of certain localities such as Atchimanou, Yaoakakro... Most of the people surveyed had dropped out of primary school either because of a lack of funds or because their parents refused to allow them to continue. This situation, which prevails in certain localities in the study area (Atchimanou, Kadjakro, Kongodjan, etc.), seems to be the cause of a crucial lack of schools, or those that do exist are not functional. As a result, only farmers with a stable financial situation send their children to the nearest schools for education. Those whose parents do not have the necessary financial means are content with agricultural activities. Our observations are in line with those of [16] Grand-Bassam. For these authors, the low literacy rate is linked to parents' insufficient financial resources. The same observation was made by [3] in the same study area, who explain that the high illiteracy rate is due to the isolated location of certain localities.

To sum up, the people surveyed in the FMTE area are generally of indigenous origin. They are mostly men, with an average age of 39, and are generally educated. In fact, the return to the land of young people who have been to school, as well as retired people, is thought to be behind the high level of schooling in this area.

4.2 ACCESS TO LAND AND PLANTATION CHARACTERISTICS

Inheritance is the main method of access to land for the indigenous people in the study area. This method of accessing land is governed by a number of rules laid down by customary law. This can be explained by the fact that when the head of the family dies, the family plantation is divided between the members of the family. The question of rights of access to land cannot therefore be dealt with separately from that of access to labour. In the current context of competition for land and economic crisis (reducing farmers' financial capacities), the product-sharing contract is proving to be particularly flexible and suitable for arbitrating the allocation of labour and land use rights [17]. Irrespective of the crop type and locality, plantations are established from nurseries. When oil palm crops are planted, nurseries are purchased from research structures such as the National Center for Agronomic Research (CNRA) or PALM-CI. The establishment of these crops therefore requires a certain amount of knowledge on the part of farmers from organisations such as ANADER. In fact, several training programmes have been initiated by ANADER, but access to certain production sites remains closed. Moreover, even if these training courses are received, they remain difficult to put into practice by the producers because of the multitude of phyto-chemical treatments which do not take into account the level of impoverishment present in the villages. Our results differ from those obtained by [13]. In addition, illiteracy and the low level of income of producers are thought to be the cause of the failure to apply the advice of agricultural supervisors. The establishment of crops in the FMTE area is linked to the availability and size of the land and involves preparing the plot. Generally, once a plot has been cleared, it is developed to maximise yields in the first few years. As cocoa cannot generally produce from the first year, cocoa is planted in association with food crops (yam, taro, plantain banana, etc.).

Three groups of plantations emerge according to the distribution of these variables from the Correspondence Factorial Analysis. The typology based on the farms highlighted the fact that they do not have the same configuration. This underlines the fact that production systems may vary according to the biophysical, climatic and human characteristics of the forest zone [18]. For example, the conversion of forests to cocoa plantations in Atchimanou and Kadjakro, although in the form of a traditional full-sun agroforestry system, is leading to the erosion of local biodiversity ([19]; [20]. Oil palm plantations in the localities of Dohouan, Nouamou and Kotoagnuan highlight the sandy texture of the soil, which is ideal for this type of crop. Palm and coconut trees need a favourable climate and soil, and a regular supply of water throughout the year to ensure good yields. On the

other hand, the presence of crop associations such as cocoa-palm, palm-coconut, etc. in the Yaoakakro areas shows a diversity of crops. Farmers are keen to constantly increase their production, and are striving to develop specialised cropping systems in order to benefit from maximum savings and recoup expenses as quickly as possible. Farmers generally prefer to combine crops because of the shortage of arable land, high demand and rapid production.

In FMTE, the main crops are palm and cocoa. This practice is passed down from father to son, and the land is bequeathed to the eldest son on the death of the head of the family, but this practice is becoming increasingly unacceptable. The majority of farmers have attended school. This situation can be explained either by the fact that it is former civil servants who are returning to the land, or by the fact that the head of the family dies and the student son is obliged to return to the land in order to look after the plantations, or by the fact that civil servants have been posted to rural areas.

4.3 USE OF SPECIES BY LOCAL POPULATIONS

The use of natural resources for medicinal purposes is the most widespread form, not least because of the enormous difficulties of access to modern medical care and its relatively high cost. The abundance of species used for medicinal purposes shows that farmers are well aware of their virtues. Their importance in the plantations could be justified by the fact that, faced with poverty, farmers are turning to traditional medicine to cover their health needs. Conventional facilities (health centres) are still relatively expensive in relation to their purchasing power, and are rare in the various localities. The local people gather medicinal plants from their fields, which are known to relieve certain ailments. This is the case with *Alstonia boonei* (Apocynaceae), known locally as Emien, which is recognised for its effectiveness in treating malaria. Our results corroborate those of [11], who worked in the locality of Agbaou. These authors confirm that most of the local population use species such as *Alstonia boonei, Xylopia aethiopica,* etc., collected in this area, for medicinal purposes due to the distance from health centres. The second type of product used by local people, particularly those in the south-east of FMTE, is food. Their wide variety in FMTE areas could enable people to ensure their food security and additional income, particularly women and children. [21], [22] and [23] had already shown this in their work. The staple diet of the Akan people, who live in the study area, is based on starchy foods (cassava, yam and banana), vegetables (cheese leaves), fruit eaten raw (avocado) and beverages (palm wine). According to [21], the nutritional value of certain species, including *Elaeis guineensis* and *Ricinodendron heudelotii* (Euphorbiaceae), known locally as Akpi, enabled people to cover their energy and vitamin requirements. The local population's interest in certain plants, mainly *Tieghemella heckelii,* Piper guineense and *Ricinodendron heudelotii,* was also observed in the study area. Akpi fruit is used to make sauce, and pepper (*Piper guineense*) fruit is used as a spice to season food. It is reported as a food plant in other regions of Côte d'Ivoire [24], and in Congo [25]. Other forms of resource use, such as building and handicrafts, are also cited by people in the study area. In these localities, the majority of houses are covered with raffia leaves (Raphia spp). Most of these building and craft materials come from FMTE. This situation has already been observed by [3], who emphasised that FMTE is still the only source of building materials in the area. Rattan palms are used to make furniture, generally in the localities of Dohouan, Atchimanou and kadjakro. The palm nuts are also used as bait in traps to capture animals, especially primates, rodents and birds, sold as bushmeat. According to [26], rattan palms are used by local people in the Haute-Dodo classified forest to make furniture and various objects.

4.4 FMTE AREA: PLACE WHERE SPECIES ARE HARVESTED FOR VARIOUS TRADITIONAL USES

The survey shows that 11.39% of species are cited by local people as being used in their diet, pharmacopoeia, handicrafts or Timber production. In fact, this proportion is lower than that obtained by [11] in the locality of Agbaou, who obtained 17.3%. It can therefore be said that several species for traditional use are still poorly known or insufficiently exploited despite their virtues. According to [27], knowledge and effective use of plant species seem to be closely linked to three main factors: the distribution of the species concerned, their availability over time and the uses that people make of them. The proportion of species that can be used traditionally is higher in the forest on the site of the future reserve and in the plantations in the farming areas. The spontaneous species for traditional use that we have encountered grow on their own and do not require any particular maintenance. They are only found in plantations when they are spared by farmers. As a result, their numbers are higher in forests and lower in plantations and fallow land. As pointed out by [28] in Benin, tropical forests, because of their high biodiversity, are teeming with various species whose virtues are well known to the people who depend on them. According to [24], the best-known used species of spontaneous flora in the Department of Gagnoa are found mainly in the forests. However, in the outlying areas of the FMTE, the study shows that the proportion of these species with various traditional uses is higher in plantations than in fallow. This fact shows that when crops are planted and during the maintenance phases, particular importance is attached to conserving species that can be used because of their virtues. Different forms of exploitation appear to be more severe in FMTE forest habitats than in peripheral areas. [29] defined four (4) criteria for a "priority" or "key" forest product for local populations: significant commercial or economic value, products for which demand exceeds supply capacity, multiple-use species or species with many parts used, or species classified as vulnerable according to the International Union for Conservation of Nature or national laws. On the basis of the rarefaction indices, and taking account of these "priority" species criteria, we divided up the various taxa cited by the farming communities during the survey of the species cited for the quality of their wood, *Entandrophragma angolense, Triplochyton scleroxylon, Milicia regia* and *Milicia excelsa* are among those recognised as such in Côte d'Ivoire by the "Société de Développement des Forêts". Among them, *Milicia excelsa, Entandrophragma angolense* and *Triplochyton scleroxylon* are classified as top-quality Timber species and are all on the Red List of Vulnerable Species of Ivorian Flora [30]. Our remarks corroborate those of [31]. For this author, the plant species mentioned above are considered to have a high commercial value and are much used by local populations living in forest areas. They may therefore be among the "priority" or "key" species for local populations in the FMTE area. *Elaeis guineensis* and *Raphia hookeri* are used for their saps, roots, leaves and seeds. The sap from these

species (palm wine) is highly prized and extensively extracted in all regions of Côte d'Ivoire. These observations are similar to those of [31] in a study of three agro-ecological zones in Côte d'Ivoire: the savannah, the savannah-forest transition zone and the forest zone. The author claims that palm wine accounts for more than 10% of the calorific needs of the rural population of Côte d'Ivoire. The pulp of *Elaeis guineensis* is used to extract edible red palm oil. From the kernel, black oil is obtained, which is used in pharmacopoeia and to make soap. Leafs are also used for building roofs and making brooms and baskets. Their roots and young leaves are used for medicinal purposes. Given all these uses, Elaeis guineensis and Raphia hookeri can be classed as "priority" or "key" species for riparian populations in the FMTE area. The rarity index for *Elaeis guineensis* shows that this species is still available in all FMTE areas. This can be explained by the widespread domestication of the species in all tropical forest areas. *Garcinia Kola* has a rarefaction index which shows that this species is rare in FMTE areas. This rarity is linked to the massive harvesting and sale of the seeds of this species, commonly known as "petit cola". In several regions of Côte d'Ivoire, these seeds are known for their aphrodisiac and fortifying properties in the fight against erectile dysfunction. Our results are in line with those of [32]. These authors showed in their work in the Department of Adzopé that the use of *Caesalpinia benthamiana* and *Garcinia Kola* contributes significantly to primary health care for the treatment of erectile dysfunction. The rarity of this species in the locality is a general fact in Côte d'Ivoire. Its unavailability in the FMTE area may be linked to even greater instability in its ecological niche. Various other species do not meet the four criteria indicated by [29], although they are important for rural populations in the FMTE area. Their rarefaction index remains above 80% either in rural areas or in FMTE. Their rarefaction is most often linked to their ecology and/or the way they are harvested. Among the species in the latter category is *Ricinodendron heudelotii,* known locally as 'Akpi' for its seeds, which are used in the preparation of sauces. It is one of the species best known to people in several localities. Seeds of this species can be stored and sold all year round. Our observations corroborate those of [33] in his work in the Department of Divo, who states that several species such as Akpi are highly prized by the people of this area. In fact, this author showed that these populations use these species for sale on the various markets and for self-consumption. Another species, *Thaumatococcus danielii,* whose leaves are used as packaging, is not only grown by people in the study area. In fact, this species, commonly known as the "Attiéké Leaf" in reference to Attiéké, a cassava semolina highly prized by Ivorians, whose leaves are used in traditional packaging, is exploited by all the local populations in the forest areas. In short, the use of plants for medicinal purposes remains the most widespread form of use in the WFI region, given the difficulties of access to modern medicine. Several species in the WFI region are still available to local populations. However, others are rare and/or vulnerable due to misuse by local populations or the degradation of their ecological niche.

5 CONCLUSION

A large proportion of Côte d'Ivoire's wetland forests are still disappearing, mainly as a result of human activities such as hunting, farming, fishing and logging. An initiative for the conservation, protection and management of Ivorian forests is envisaged with the advent of Voluntary Nature Reserves (RNV) or community forests. The FMTE, which is the subject of this study, is part of this dynamic, as it is under constant threat of pressure from local populations. Faced with this problem, one question is increasingly being asked. It is a question of carrying out studies into the rational use of the plant species of the FMTE by the populations living in the surrounding area. To achieve this, it has been necessary to determine the uses made by local populations of the plant species harvested in this area. The forest of the Tanoé-Ehy marshes remains the main source of harvested plant resources for the local population. The main uses are traditional medicine and food. All these activities could constitute a major threat to the sustainability of biodiversity in the future RNV that is FMTE.

Ultimately, it is time to reconcile the well-being of local populations with biodiversity conservation in the FMTE area. Environmental management and conservation programmes through plantation reforestation (agroforestry) must be initiated in the localities closest to FMTE. Given the attachment of the communities to this site, the FMTE management rules should take into account their conception, their know-how and their perception in terms of conservation and protection of biological diversity. Given the great importance of the Forêt des Marais Tanoé-Ehy (FMTE) in terms of a particular ecosystem and biodiversity conservation, it is desirable and urgent that, in addition to awareness-raising campaigns for the local populations, the process of its definitive classification be accelerated to put an end to its degradation.

ACKNOWLEDGMENTS

The present study is part of a program for the conservation and preservation of the FMTE thanks to the support and assistance of the Centre Suisse de Recherches Scientifiques. The work in the Forêt des Marais Tanoé-Ehy was made possible thanks to the collaboration of the local population of the sub-prefectures of Nouamou and Noé.

REFERENCES

[1] Koné, W. M., Atindehou, K. K., Terreaux, C., Hostettmann, K., Traore, D., & Dosso, M., (2004). Traditional medicine in North Côte-d'Ivoire: screening of 50 medicinal plants for antibacterial activity. *Journal of ethnopharmacology,* 93 (1): 43-49.

[2] Gonédélé, B. I. S., Koné, I., Béné, J.-C. K., Bitty, A. E., Akpatou, B. K., Goné, Bi. Z. B., Ouattara, K., & Koffi, D. A., (2008). Tanoé forest, South-Eastern Côte d'Ivoire identified as a high priority site for the conservation of critically endangered Primates in West Africa. *Tropical Conservation Science,* 1 (3): 263-276.

[3] Zadou, D. A., Koné, I., Mouroufié, V. K. A., Adou Yao, C. Y., Gleanou, E. K., Kablan, Y. A., Coulibaly, D., & Ibo, J. G., (2011). Valeur de la forêt des Marais Tanoé-Ehy (Sud Est de la Côte d'Ivoire) pour la conservation: dimension socio-anthropologique. *Tropical Conservation Sciences,* 4 (4): 373-385.

[4] Sibirina, S., Djakalia, O., Mathieu, E. W., & Dossahoua, T., (2014). Usages traditionnels de quelques espèces végétales de la forêt marecageuse classée de Port Gauthier, en zone côtière au Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, 10* (3).

[5] Brou, Y. T., Akindès, F., & Bigot, S., (2005). La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahiers Agricultures,* 14: 533-540.

[6] Perraud A., (1971). La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire (relations: sol-végétation-climat). 269-391.

[7] De Rham P., (1971). «L'azote dans quelques forêts, savanes et terrains de culture d'Afrique tropicale humide (Côte d'Ivoire) ». Thèse Doctorat ès Sciences Université de Lausanne, 124 p.

[8] Abrou N. E. J, Kpangui K. B, Vroh B. T. A, Adou Yao C. Y., (2017). Déterminismes de la Dynamique de la Forêt des Marais Tanoé-Ehy (FMTE). European Scientific Journal, 273 (13): 301-317.

[9] Géhu J. M. & Géhu J., (1980). Essai d'objection de l'évaluation biologique des milieux naturels. Exemples littoraux. *Séminaire de Phytosociologie Appliquée. Amicale Francophone de Phytosociologie, Metz,* 75-94.

[10] Kokou K., Adjossou K. & Hamberger K., (2005). Les forêts sacrées de l'aire OUATCHI au sud-est du Togo et les contraintes actuelles des modes de gestion locale des ressources forestières. *Vertigo-La revue des sciences de l'environnement,* 6: 3-10.

[11] Vroh B. T. A., Ouattara D. & Kpangui K. B., (2014). Disponibilité des espèces végétales spontanées à usage traditionnel dans la localité d'Agbaou, Centre- ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 76: 6386-6396.

[12] Kokou K. & Kokutse A. D., (2007). Conservation de la biodiversité dans les forêts sacrées littorales du Togo. *Bois et Forêts des Tropiques,* 292 (2): 59-70.

[13] Tano M. A., (2012). Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la s Sous-préfecture de Méadji au Sud-ouest ivoirien. Thèse de Doctorat soutenue le mardi 3 Avril 2012, Université Toulouse le Mirail- Toulouse II, France, 263.

[14] Assa R. R., Konan J. L., Nimlin J., Prades A., Agbo N. & Sié R. S., (2006). Diagnostic de la cocoteraie paysanne du littoral ivoirien. *Science & Nature,* 3 (2): 113-120.

[15] Assiri A. A., Yoro G. R., Deheuvels O., Kebe B. I., Keli Z. J., Adiko A. & Assa A., (2009). Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (Theobroma cacao L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences,* 2 (1): 55-66.

[16] Komoé K, Kassi N. J. & Soro D., (2014). The Dinoflagellate of the genus Ceratiumschrank collected in the Grand-Lahou lagoon (Côte d'Ivoire). *Pakistan Journal of Botany,* 46: 389-398.

[17] De Fina C., 1994. Rapports de pouvoir, relations clientélistes et conventions dans l'accès aux facteurs de production en agriculture de plantation villageoise. 33 p.

[18] Blanc-Pamard C., (1978). Contraintes ecologiques et réalites socio-économiques: l'exemple de Tafissou, communauté rurale du contact forêt-savane sur la branche ouest du 'V Baoule' Côte d'Ivoire. Cahiers ORSTOM: Sciences humaines, 15 (1): 51-79.

[19] Adou Yao C. Y. & N'Guessan E. K., (2006). Diversité floristique spontanée des plantations de café et de cacao dans la forêt classée de Monogaga, Côte d'Ivoire. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen,* 157 (2): 31-36.

[20] Oke D. O. & Odebiyi K. A., 2007. Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. Agriculture, *Ecosystems and Environment,* 122: 305-311.

[21] Herzog F. M., (1992). Etude biochimique et nutritionnelle des plantes Alimentarys sauvages dans le sud du V-Baoulé, Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale Zurich, Suisse, 134 p.

[22] Mollet M., Téré H. & Herzog F., (2000). Ligneux à usages multiples dans les systèmes agraires tropicaux: une étude de cas de Côte d'Ivoire. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen,* 151 (10): 355-364.

[23] Sonwa D. J., Weise S. F., Tchatat M., Nkongmeneck B. A., Adesina A. A., Ndoye O. & Gockowski J., (2001). Rôle des agroforêts cacao dans la foresterie paysanne et communautaire au Sud-Cameroun. *Document RDFN,* (25): 1.

[24] Kouamé N. M. T., Gnahoua G. M., Kouassi K. E., Traoré D., (2008). Plantes Alimentarys spontanées de la région du Fromager (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire): flore, habitats et organes consommés. *Sciences & Nature,* 5 (1): 61–70.

[25] Ingram J. S., Vermeulen S. J. & Campbell B. M., (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources,* 37 p.

[26] Kouassi K. H., N'Guessan K., Gnahoua G. M. & Kouassi K. E., (2009). Flore post-culturale en zone de forêt dense semi décidue de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences,* 19: 1026-1040.

[27] Ambé G. A., (2001). Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte-d'Ivoire: état de la connaissance par une population locale, les Malinké. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement,* 5 (1): 43-58.

[28] Zohoun G., Boya Y., Attolou M., Adjakidje V., Oudé P. & Houndaye F., (2002). L'utilisation des produits forestiers non ligneux (PFNL) dans le cadre de la gestion forestière durable au Bénin. *Le Flamboyant,* 55: 13-18.

[29] Clark E. L. & Sunderland T. C., (2004). The key non timber Forest Products of central Africa: state of the Knowledge. Technical paper N°122. SD publication Series. Office of sustainable Development Bureau for Africa. USAID, 186 p.

[30] UICN., (2021). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021.1. <www.iucnredlist.org>.

[31] Mollet M., 1999. L'utilisation durable des palmiers *Borassus aethiopum,* Elaeis guineensis et Raphia hookeri pour l'extraction de vin de palme en Côte d'Ivoire. GTZ, Eschborn, 69.

[32] Kouamé N. F., (1998). Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore des forêts classées du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat 3è Cycle, UFR Biosciences, Université Cocody- Abidjan, Côte d'Ivoire, 227 p.

[33] Békro Y. A., Janat A., Békro M., Boua B. B., Tra Bi F. H. & Éhilé E. E., (2007). Etude ethnobotanique et screening phytochimique de Caesalpinia benthamiana (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpiniaceae). *Sciences & Nature,* 4 (2): 217-225.

[34] N'Dri P., (1986). Contribution à l'étude de quelques plantes Alimentarys spontanées de la région de Divo (Côte d'Ivoire). Mémoire de D.E.A d'Ecologie tropicale Option Végétale. Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 65.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1003-1015
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Conception de la biodiversité dans les textes juridiques congolais relatifs à la gestion des ressources naturelles: Des défis pour les Congolais

[Conception of biodiversity in the Congolese legal texts related to the management of natural resources: Challenges for the Congolese peoples]

***Corneille Ntamwenge*[1-2-3-4]**

[1]Professeur associé, Université de l'Uélé, Isiro, RD Congo

[2]Participant à *Globethics.net,* Genève, Switzerland

[3]Ancien étudiant de la *Katholieke Universiteit Leuven,* Belgium

[4]Université catholique du Congo, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study concerns environmental degradations noticed in the areas controlled by extractive industry and in the Congolese urban zones. Based on the legal framework established, 2002 – 2016, and on the available results of reserarch, it argues: the management of natural resources henceforth requires more rationality and more responsibility, more attention to ecological balance and to the needs of future generations.

It has really detected the notions of biodiversity in Congolese laws focused on the management of natural resources, and has examined the relevance of the Congolese legal framework in relation to environmental, health, ecological and axiological degradations. It has also assessed the quality of the implemention of laws promulgated. Analyses and reflections of this study therefore highlight three major challenges in the Congolese society, namely (1) economy of the cognitive resources, and of the cultural and ecological values, (2) management of the natural resources, and (3) Congolese tragedy.

In addition to the introduction and conclusion, analyses and reflections of the study are divided into three sections, that is (1) legal framework for the management of Congolese natural resources: the notions of biodiversity, (2) critique of the Congolese laws considered: their quality and that of their implementation, and (3) biodiversity issues.

KEYWORDS: State, populations, extractive industry, environmental degradations, responsibility, mining exploitation and tropical biodiversity.

RESUME: Cette étude porte sur les dégradations environnementales observées dans les zones contrôlées par l'industrie extractive et dans les milieux urbains du Congo. S'appuyant sur le cadre juridique mis en place, 2002-2016, et sur les résultats de la recherche disponibles, elle soutient : la gestion des ressources naturelles requiert désormais plus de rationalité et de responsabilité, plus d'attention à l'équilibre écologique et aux besoins des générations futures.

Elle a réellement décelé les notions de biodiversité dans les lois congolaises focalisées sur la gestion des ressources naturelles et examiné la pertinence du cadre juridique congolais par rapport aux dégradations environnementales, sanitaires, écologiques et axiologiques. Elle a aussi évalué la qualité de mise en œuvre des lois promulguées. Ses réflexions et analyses affichent dès lors trois grands défis au Congo : l'économie des ressources cognitives et des valeurs culturelles et écologiques, la gestion des ressources naturelles et la tragédie congolaise.

Corresponding Author: Corneille Ntamwenge

En plus de l'introduction et de la conclusion, les analyses et réflexions de cette étude sont réparties en trois sections: (1) cadre juridique de la gestion des ressources naturelles du Congo: notions de biodiversité, (2) lecture critique des lois congolaises considérées: leur qualité et celle de leur mise en œuvre, et (3) problématique de la biodiversité.

MOTS-CLEFS: Etat, populations, industrie extractive, dégradations environnementales, responsabilité, exploitation minière et biodiversité tropicale.

1 INTRODUCTION

Les milieux urbains et les zones d'extraction des ressources minières et forestières du Congo se caractérisent actuellement par les dégradations environnementales suivantes: pollution des eaux et de l'air, pollution sonore, olfactive et visuelle, déchets managers, montagnes des plastiques, déforestation, déchets miniers, érosion des terres, décharges toxiques, émission de la poussière dans l'atmosphère et dégradation des terres agricoles. Les villes de Kinshasa et Bukavu, d'une part, et l'industrie minière dans les provinces orientales du Congo illustrent clairement cette observation des chercheurs. Les milieux urbains étant ouverts à tout observateur averti[1], cette étude se penche davantage sur les dégâts entraînés par l'industrie extractive au Congo (Héritier Khoji Muteya et al. 2022; Matthieu Sekalo Mandele et al. 2021; Serge Kashimbo Kalala, 2016, etc.).

Le premier exemple des dégradations environnementales concerne ainsi le Haut-Katanga, plus précisément la ville de Lubumbashi. Anuarite Bashizi et al. (2016: 278; 292) ont examiné l'impact négatif de la mine « de l'étoile Kalukuluku", propriété de l'entreprise multinationale *Ruashi Mining,* sur deux ressources naturelles: les terres agricoles et l'eau. La pollution de cette mine affecte non seulement ces deux ressources mais aussi les agriculteurs, les consommateurs des produits agricoles et de l'eau et la ville de Lubumbashi.

Concluant leur analyse, ces chercheurs soutiennent: « [...] l'activité minière dans une partie de la RDC est à la base de la détérioration des conditions de vie des populations pauvres vivant de l'exploitation de la terre agricole et utilisant l'eau polluée. Cette détérioration du bien-être de la population est un processus à la fois écologique et politico-économique. Ecologique parce que, comme le montre l'exemple de Lubumbashi, elle passe par la dégradation des terres agricoles et de l'eau du fait de l'exploitation minière. Politico-économique parce que son intelligibilité réside aussi bien dans une analyse de l'économie politique de l'exploitation minière que dans la déconstruction des discours sur le rôle des ressources naturelles en RDC et les contradictions qu'ils comportent ». Sur cette question l'équipe de Kalala (2016: 205) confie: « L'exploitation minière de métaux de base (Cu, Co, Pb, Zn) au Katanga est comptée parmi les activités industrielles génératrices de sérieux problèmes de pollutions métalliques des sources en eau ».

Les questions écologiques des provinces du Haut-Katanga et du Lualaba ont attiré l'attention d'autres chercheurs, notamment Jacob Mwitwa et collègues. L'équipe de Mwitwa (2012: 19; 27) a relevé des problèmes écologiques de déforestation, de pollution de l'eau et des terres, de détérioration de la biodiversité et de déchets miniers en examinant l'impact social et environnemental de l'industrie extractive sur les villes de Lubumbashi, Congo, et de Chingola, Zambie, et environs. La situation environnementale actuelle de certaines villes et villages du Haut-Katanga et du Lualaba ressemble à celle de quelques zones habitées, villes et villages, d'autres provinces orientales, tels que le Sud-Kivu, le Nord-Kivu, le Maniema, l'Ituri et le Haut-Uélé.

En plus, selon le récit de la Sœur Nathalie de Kolwezi, Province du Lualaba, rapporté par Raphaël Zbinden en 2019, « les nuisances provoquées par les activités d'extraction sont beaucoup plus grandes que les avantages. Elles concernent surtout la pollution de l'eau, de l'air et des sols, ainsi que des problèmes de délocalisation des populations ». « Les nuages de poussière soulevés affectent grandement la qualité de l'air et les dispensaires de la région, démunis, ne parviennent pas à faire face aux nombreuses maladies respiratoires qui en résultent. Des écoulements de boues et de substances chimiques en provenance des

[1] A titre indicatif, on peut recommander ces trois titres: Salakiaku Lutadila Djani et al., *Pollution des eaux de surface et ses conséquences sur les écosystèmes aquatiques et les humains: cas de la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo (Synthèse bibliographique)*, 2022 ; Rodriguez Yombo, *Dégradation de la qualité de l'air à Kinshasa* / Célébration de la journée mondiale de l'environnement à Kinshasa, 2019 et M. J. Kitoga and M.D. Wafula, *Incidence de la pollution des eaux du lac Kivu sur sa biodiversité: cas du tronçon Place de l'Indépendance – Kazingo à Bukavu, 2018*.

mines ont également pollué des cours d'eau et des cultures voisines de sites. Beaucoup d'habitants ont ainsi été coupés de leurs ressources économiques et alimentaires ».

Ces dégradations environnementales et écologiques et leurs conséquences sur les populations congolaises et leurs sociétés devraient interpeller les décideurs politiques et les chercheurs actifs sur le territoire congolais. Elles justifient la pertinence des études locales et/ou nationales portant sur la gestion des ressources naturelles en RD Congo, du fait que ces études mettent en évidence une des questions cruciales de nos jours: la destruction de la biodiversité tropicale. Contenant des idées favorables à la protection de la diversité biologique et à la gestion responsable des ressources naturelles, le cadre juridique congolais de nos jours, de 2002 à 2016, doit encourager les Congolais à assurer désormais une gestion rationnelle, responsable, de ces ressources en relevant les défis des dégradations environnementales, écologiques, sanitaires, sociales et axiologiques.

De ce cadre juridique nous allons dégager des concepts propices à la protection de la biodiversité tropicale, au respect des principes de la protection de l'environnement et de la conservation de la nature. La critique relative aux lois congolaises consiste à clarifier cet objectif en mettant en relief des lacunes évidentes dans la gestion des ressources naturelles du Congo. Il ne suffit pas de promulguer des lois, le plus grand travail étant situé en amont et en aval. Ces lois promulguées présentent néanmoins des notions importantes de biodiversité: conception de celle-ci au Congo.

En plus de l'introduction et de la conclusion, les réflexions de cette étude sont réparties en trois sections, dont la première consiste à identifier, dans les lois considérées, des concepts favorables à la protection de l'environnement et de la biodiversité. La deuxième section est une lecture critique du cadre juridique congolais portant sur la gestion des ressources naturelles du Congo[2]. Elle repose sur les résultats de la recherche de deux dernières décennies. Il convient toutefois de définir ce cadre juridique: nous n'avons retenu que les lois et décrets accessibles de la période délimitée, 2002-2016.

La problématique de la biodiversité, troisième section, se présente comme la résultante des réflexions de deux premières sections. Elle souligne des défis écologiques pour le Congo et pour l'Afrique centrale tout en situant l'homme dans la nature, son lieu d'existence, et en déterminant les notions de biodiversité. En fait, les réflexions et analyses suivantes s'inscrivent dans une perspective éthique, laquelle intègre logiquement l'interdisciplinarité.

2 CADRE JURIDIQUE DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES DU CONGO

2.1 INDUSTRIE EXTRACTIVE: CODE MINIER ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Parmi les instruments juridiques congolais contenant des notions relatives à la biodiversité et à la gestion des ressources naturelles, sur la période allant de 2002 à 2016, on peut mentionner quatre lois et deux décrets: (2002) *Code minier* et *Code forestier,* (2003) *Réglementation Code minier,* (2011) *Protection de l'environnement,* (2014) *Conservation de la nature* et *Règles de fonctionnement des mécanismes procéduraux de la protection de l'environnement*. Il y a ensuite la loi portant sur l'eau, *no 15/026* du 31 décembre 2015, et celles relatives à l'agriculture, *no 11/022* du 24 décembre 2011, et aux hydrocarbures, *no 15/012* du 1er août 2015.

Ces textes juridiques contiennent ainsi des idées devant favoriser des analyses et réflexions portant sur la gestion des ressources naturelles du Congo et sur l'état actuel de destruction de la biodiversité tropicale sur les territoires de ses provinces orientales. Il convient de souligner que la protection de l'environnement a été intégrée dans ces trois dernières lois, c'est-à-dire celles portant sur l'eau, les hydrocarbures et l'agriculture.

La législation portant sur les préoccupations environnementales et écologiques a été déclenchée par la problématique de l'industrie extractive des matières premières critiques, les ressources minérales et forestières notamment. Ainsi avons-nous d'abord la Loi no *007/2002 du 11 juillet 2002 portant code minier et le Décret no 038/2003 du 26 mars 2003 portant règlement minier, ainsi que la Loi no 011/2002 portant Code forestier.* Les idées écologiques de cette dernière loi seront abordées après la présentation de celles contenues dans la législation portant sur les ressources minières, sur la conservation de la nature et sur la protection de l'environnement.

Le code minier de 2002 affirme certes la « protection de l'environnement minier », il refuse néanmoins d'exposer clairement ce qu'il entend par le concept d'environnement. Excepté trois expressions y relatives, le mot environnement est absent sur la liste

[2] Les réflexions de cette étude reposent sur des données rassemblées par l'auteur sur la période allant de 2015 à nos jours. Par conséquent, on peut utilement consulter ses publications, accessibles au public intéressé, de cinq dernières années: 2018-2023.

de ses cinquante-six concepts majeurs (art. 1). Les trois expressions sont: « étude d'impact environnemental », « plan d'atténuation et de réhabilitation » et « plan de gestion environnementale du projet ». L'idée d'environnement demeure ainsi floue dans ce code minier congolais. Ne figure pas aussi sur cette liste le concept de biodiversité.

Le décret présidentiel de 2003 traite « des obligations environnementales » dans les articles 404-476 et « des sanctions pour les contraventions aux obligations environnementales » dans les articles 569-571. Il présente en outre les « attributions de la direction chargée de l'environnement minier » dans l'article 11. Tout en intégrant l'idée vague d'environnement du code minier de 2002, le décret de 2003 souligne toutefois des termes devant enrichir la conception environnementale de l'Etat congolais: milieu sensible, plan d'ajustement environnemental, plan environnemental, zone de réserve, zone de restriction, zone interdite et zone protégée (2003: Art. 2-6). Leur description doit retenir l'attention des chercheurs intéressés par la biodiversité et l'écologie. Par manque de clarification conceptuelle, la politique environnementale de ces deux textes demeure problématique, elle s'éloigne de nombreux problèmes écologiques posés par l'industrie extractive en République démocratique du Congo.

Les chercheurs ayant examiné les mesures environnementales du Congo en ces deux textes estiment avec raison qu'elles sont insuffisantes par rapport à la problématique écologique entraînée par l'industrie extractive depuis le XIX^{e} siècle dans les provinces orientales du Congo. Aussi démontrent-ils l'incapacité de l'Etat congolais d'appliquer effectivement ses mesures légales concernant l'environnement, la protection de la biodiversité tropicale et le respect des communautés politiques congolaises. Cette critique a été certes développée comme réaction au développement anarchique de l'industrie extractive minière dans les provinces orientales du Congo, elle concerne toutefois d'autres industries extractives: forestière, maritime, halieutique et exploitation des hydrocarbures.

Neuf ans après la promulgation du code minier, le législateur congolais a fini par comprendre la nécessité de clarifier sa politique environnementale en adoptant une loi destinée à promouvoir la protection de l'environnement et à réduire les lacunes constatées dans les textes de 2002 et 2003. Cette nouvelle loi de 2011 définit le concept d'environnement et d'autres concepts associés, comme la conservation, les déchets dangereux et la diversité biologique. En fait, la Loi no 11/009 du 09 juillet 2011 « vise à favoriser la gestion durable des ressources naturelles, à prévenir les risques, à lutter contre toutes les formes de pollution et nuisances, et à améliorer la qualité de la vie des populations dans le respect de l'équilibre écologique » (art. 1).

Sur les 39 mots-clés de cette loi congolaise (art. 2), 13 permettent d'accéder à l'intelligence écologique de son auteur: conservation, diversité biologique, écosystème, effluent, érosion, étude d'impact environnemental et social, évaluation environnementale, gestion des déchets, pollution, ressources biologiques, ressources naturelles, utilisation durable et environnement. La clarification de ces concepts doit dégager une idée riche de l'environnement. Toutefois, pour l'auteur de ce texte de loi, l'environnement se présente comme « [l'] ensemble des éléments naturels ou artificiels et des équilibres biologiques et géochimiques auxquels ils participent, ainsi que des facteurs économiques, sociaux et culturels qui favorisent l'existence, la transformation et le développement du milieu, des organismes vivants et des activités humaines ».

Remarquons, néanmoins, qu'il a fallu attendre trois ans durant pour qu'apparaisse un décret fixant les règles de fonctionnement de différents mécanismes procéduraux de protection de l'environnement définis au chapitre 3 de la Loi no 11/009 du 09 juillet 2011 (2014, art.1): *Décret no 14/019 du 2 août 2014 fixant les règles de fonctionnement des mécanismes procéduraux de la protection de l'environnement*.

En fait, au cœur de préoccupations environnementales et écologiques exprimées en ces quatre textes susmentionnés, il y a l'idée non explicitée de biodiversité tropicale et d'interdépendance vitale entre les différentes composantes de la nature, l'idée de protection des conditions essentielles de la vie en Afrique centrale, l'idée d'habitabilité de la Terre. La problématique de la biodiversité incorpore en fait les préoccupations focalisées sur la gestion des ressources naturelles du Congo.

2.2 INDUSTRIE EXTRACTIVE: CODE FORESTIER ET CONSERVATION DE LA NATURE

En plus de l'apport de ces quatre textes officiels, suit maintenant celui de deux autres retenus: *Loi no 011/2002 portant Code forestier* et *Loi no 14/003 du 11 février 2014 relative à la Conservation de la nature*.

La *Loi no 14/003 du 11 février 2014* a renouvelé la conception de la conservation de la nature en République démocratique du Congo et les mécanismes de gestion des ressources naturelles. L'objet de cette loi et l'explication de ses neuf concepts essentiels, entre autres, introduisent à la conception de la conservation de la nature et de la protection de la biodiversité tropicale chez le législateur congolais. Avant de présenter l'objet de cette loi, il convient de s'arrêter sur ces neuf concepts sélectionnés sur la liste de 47. Ce sont l'aire protégée, la conservation, la diversité biologique, l'écosystème, l'étude d'impact environnemental et social, l'habitat naturel, le paysage, les ressources biologiques et les ressources naturelles. La description de ces expressions (art.2) permet de comprendre l'objet (art.1) de ce texte de loi. Les termes rassemblés par le législateur en définissant la diversité

biologique, l'écosystème, l'aire protégée, les ressources biologiques et les ressources naturelles supposent une bonne gestion de ces dernières ressources et la nécessité de protéger la biodiversité tropicale.

On peut s'arrêter à titre d'exemples à la définition relative à l'écosystème et aux ressources naturelles, définition rappelant la Loi *no 11/009* de 2011 sur la protection de l'environnement. Ces ressources sont décrites comme « tout produit fourni par la nature et pouvant servir de moyen d'existence à une population ou à une nation. Il s'agit notamment des ressources en terre, des ressources en eau, des ressources forestières, de l'air et des espèces de faune et de flore sauvages » (2014, art.2, no 42). Ensuite, pour le législateur congolais, l'écosystème est un « complexe dynamique formé de communautés des plantes, d'animaux et de microorganismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle » (art.2, no 14).

Abrogeant l'ordonnance-loi no 69-041 du 22 août 1969, relative à la conservation de la nature ainsi qu'à toutes les autres dispositions antérieures contraires (2014, art. 85), la nouvelle loi de 2014 se justifie ainsi par la finalité lui assignée: elle « fixe [...] les règles relatives à la conservation de la diversité biologique, à l'utilisation durable de ses éléments constitutifs ainsi qu'à l'accès et au partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources biologiques et génétiques. Elle concourt à assurer notamment la conservation des écosystèmes et des habitats naturels, la protection des espèces de faune et de flore ainsi que le développement durable dans les aires protégées » (2014, art.1).

Concernant la gestion des ressources végétales, l'inventaire des textes législatifs fait observer que c'est depuis 1949 que le législateur congolais est resté endormi. La *Loi no 011/2002 du 29 août 2002 portant Code forestier* apparaît, en fait, comme un réveil brutal forcé par des agents externes et leurs motivations et par la caducité de la loi en vigueur. Elle a par conséquent abrogé le décret du 11 avril 1949 portant régime forestier ainsi que toutes les autres dispositions antérieures contraires (2002, art. 156). Dans l'*exposé des motifs* justifiant la raison d'être de cette nouvelle loi, les difficultés de la mise en œuvre du décret de 1949 ont été évoquées. Le législateur congolais relève ainsi que « la mise en œuvre [du régime forestier congolais de ce décret] s'*était* avérée difficile au fur et à mesure de l'évolution politique, économique, sociale et culturelle du pays ».

Ce Code forestier vit donc le jour dans le même contexte socio-politique et sécuritaire que le Code minier congolais de la même année. Toutefois, parmi ses concepts définis, 22 au total, il en contient sept étroitement liés à la gestion rationnelle, responsable, des ressources naturelles forestières: bioprospection, reconstitution de forêts, reconnaissance forestière, inventaire forestier, exploitation forestière, conservation et aménagement.

En réalité, les notions de bioprospection, de conservation et d'aménagement forestier s'ouvrent directement sur la gestion responsable de la biodiversité tropicale. Dans le texte indiqué, qu'entend le législateur congolais par ces trois notions ? Pour lui, la bioprospection, c'est une « activité consistant à inventorier ou évaluer les éléments constitutifs de la diversité biologique importants pour sa conservation et son utilisation durable tout en tenant compte des normes d'inventaire prévues ».

Ensuite, la conservation est définie comme des « mesures de gestion permettant une utilisation durable des ressources et des écosystèmes forestiers, y compris leur protection, entretien, restauration et amélioration ». La troisième notion correspond à l'aménagement forestier, c'est-à-dire « l'ensemble des opérations visant à définir les mesures d'ordre technique, économique, juridique et administratif de gestion de forêts en vue de les pérenniser et d'en tirer le maximum de profit » (2002, art. 1). Considérant ces notions, il devient ainsi possible de comprendre la mission explicite de cette nouvelle loi forestière. Selon son article 3, le Code « définit [...] les règles juridiques applicables à la sylviculture, à la recherche forestière, à la transformation et au commerce des produits forestiers ». Aussi contribue-t-il « à la valorisation de la biodiversité, à la protection de l'habitat naturel de la faune sauvage et au tourisme ».

Bien plus, l'article 2 définit le régime national de gestion des ressources forestières, tout en entrevoyant l'interdépendance générationnelle. Pour ce *Code forestier* de 2002, le régime forestier congolais « vise à promouvoir une gestion rationnelle et durable des ressources forestières de nature à accroître leur contribution au développement économique, social et culturel des générations présentes, tout en préservant les écosystèmes forestiers et la biodiversité forestière au profit des générations futures ».

Sur la période considérée, de 2002 à 2016, les six textes officiels présentés contiennent des idées principales de la politique de gestion des ressources naturelles du Congo, définissant généralement son cadre juridique et réglementaire. Au sujet de la conservation et de la protection, la description a été essentiellement focalisée sur les ressources végétales et animales, négligeant ainsi les ressources minérales et les hydrocarbures. Toutefois, la crise écologique et environnementale vécue dans les provinces orientales, victimes des abus de l'industrie extractive, et dans les milieux urbains de ce pays devrait interpeller les décideurs politiques et administratifs. Elle dévalue en fait les politiques de mise en œuvre des lois adoptées et promulguées depuis 2002, elle dévoile ensuite la qualité de la culture politique et administrative du pays et les lacunes des lois promulguées.

3 LECTURE CRITIQUE: Y A-T-IL PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ AU CONGO ?

Les dégâts écologiques et environnementaux enregistrés sur le territoire congolais durant les trois dernières décennies démontrent l'absence d'impact réel des lois et décrets revisités dans la pratique congolaise: politique, administrative, urbanistique, commerciale et industrielle. Ils affichent le visage de la gestion des ressources naturelles au Congo. Tel est le constat d'abondantes études focalisées sur des questions écologiques et sur la gestion de ces ressources au Congo depuis les années 1990. En relevant les dégradations écologiques et sanitaires et le pillage des ressources naturelles critiques, les résultats de ces études démontrent le niveau de destruction de la nature, de la vie et de la société.

Cette triste réalité se laisse voir sur tout le territoire congolais: non application effective des lois et normes officiellement défendues ainsi que leur vulgarisation très limitée. Par conséquent, ni les populations congolaises, ni la flore et la faune de ce pays ne sont pas protégées de nuisances écologiques entraînées par la mauvaise gestion des ressources naturelles, y compris les ressources minérales et les hydrocarbures. Ainsi sont-ils parlants, à titre d'illustration, l'état actuel des villes de Bukavu et Kinshasa ainsi que la situation environnementale, économique et sanitaire dans les territoires brutalement envahis par l'industrie extractive dans les provinces orientales considérées.

La mise en œuvre effective de la loi de 2011 peut-elle réduire substantiellement les crimes écologiques et socioéconomiques occasionnés par l'industrie extractive dans les provinces orientales du Congo depuis 1910 ? Douze ans après sa promulgation, a-t-elle été réellement appliquée dans la société congolaise ? Les actes et pratiques de l'administration congolaise s'y conforment-t-ils ? La réponse à ces questions s'affichent dans les milieux urbains et les zones contrôlées par l'industrie extractive. En fait, les résultats de la recherche sur le territoire congolais de deux dernières décennies viennent clarifier cette réponse.

La réflexion de Colette Braeckman[3] du 6 février 2020 apparaît comme une des réponses pertinentes à ce questionnement d'ordre écologique et sanitaire. Braeckman partage ainsi l'inquiétude de beaucoup de chercheurs ayant examiné l'industrie extractive au Congo, depuis 1996, en soutenant: « L'exploitation minière qui devrait permettre le développement des générations présentes se révèle une bombe à retardement pour les générations futures. Au Katanga, où les mines devraient servir à construire des routes, des écoles, des hôpitaux, alimenter le budget de l'Etat et permettre le décollage, elles font la fortune des grandes sociétés et se révèlent un fardeau pour l'avenir ». « [...] ces minerais qui devraient nous assurer une énergie propre et nous libérer de notre dépendance au pétrole, se révéleront peut-être un poison pour les Congolais eux-mêmes, soumis aux radiations, victimes de la contamination de leurs sols, de la mort clinique de leurs rivières, sans parler des menaces qui pèsent sur la forêt tropicale, réservoir de la biodiversité ! ».

La soumission aveugle de l'Etat congolais aux entreprises extractives et ses faiblesses notoires apparaissent dans des études de terrain, comme celles réalisées dans le Haut-Katanga et au Sud-Kivu. Mais cette situation du Congo oriental s'apparente légèrement à celle d'autres pays africains comme la Zambie. Dans leur analyse de 2012, Jocob Mwitwa et al. (p. 27) soutiennent: "[...] mining companies seem to be largely above the law. Institutional respondents in Zambia cited a number of court cases related to environmental degradation and human casualities which have not been attended to. Similarly in the DRC, environmental impact assessments and management plans were largely viewed as neither implemented by mining industries nor systematically monitored by the government".

"In DRC, cases of repression against communities by security agencies contracted by private copper mining companies were reported and line ministries governing mining operations were considered weak in law enforcement and unaware of what is happing on the ground". "[...] findings suggest that current mining industry activities work against the interests and concerns of local institutional respondents. Land and water are polluted, vegetation growth is affected, human health is in danger and forest biodiversity is being eroded – contrary to corporate policies, national legislation and global standards".

En 2012, dans leur article intitulé *La gestion des ressources naturelles pour une croissance durable,* Chloe Dmoergue et Augustin Mbunga[4] (p.179) reconnaissent les faiblesses de l'Etat congolais et de son administration. C'est ainsi qu'ils ont soutenu: la direction chargée de la protection de l'environnement minier « ne dispose [...] pas de moyens matériels et financiers requis pour assurer la vérification sur terrain de la conformité des activités minières aux normes environnementales et sociales imposées par le code

[3] *Mines : le sous-sol congolais véritable ennemi du Congo ?* Le carnet de C. Braeckman/Le Soir/MCP, https://www.mediacongo.net/ ; http://congomines.org/system/attachments/assets/000/001/738/orginal/.

[4] Ces auteurs ont aussi intégré dans leur analyse la Loi no 11/009 du 9 juillet 2011 relative à la conservation et à la protection de l'environnement.

minier et son règlement. En outre, cette direction ne dispose pas d'une déclinaison au niveau des provinces minières concernées; ce qui amoindrit son efficacité dans le suivi environnemental ».

Poursuivant leurs réflexions sur les textes officiels cités, ces deux chercheurs soulignent: « En dépit de la promulgation de la nouvelle loi cadre sur l'environnement, l'évaluation environnementale des projets de développement, d'infrastructures, d'exploitation de toute unité industrielle, commerciale, agricole, forestière, minière ou autre, de nombreux progrès restent à faire. Le pays reste encore dépourvu de normes contraignantes et d'indicateurs spécifiques pour assurer le suivi environnemental et social des investissements, de sauvegarde des écosystèmes et réparations écologiques et sociales ».

Ce constat évident suggère quatre phénomènes nécessitant des études approfondies: (1) précipitation des réformes initiées, (2) non maîtrise des projets économiques adoptées sous fortes pressions, (3) manque de vision économique enracinée dans la société congolaise et portée par celle-ci, et (4) comportement du leadership politique congolais. L'analyse de ces phénomènes doit conduire à une bonne compréhension du système commercial établi au Congo, entraînant directement la paupérisation abjecte des Congolais et le pillage systématique des ressources stratégiques et critiques[5]. Trois ans avant la publication de cette étude de Dmoergue et Mbunga et deux ans avant la promulgation de la Loi no 11/009 sur l'environnement, Marie Mazalto avait déjà abouti à la même conclusion.

Comme résultats de son analyse de la question environnementale au Congo, Marie Mazalto (2009: 304-305; 312) affirme l'incapacité de l'Etat congolais et l'ineffectivité de ses mesures légales concernant la protection de l'environnement et de la biodiversité tropicale. "In the DRC, the new mining institutions are relatively inoperative, and are therefore only effective at a marginal level. Moreover, the massive arrival of mining investors – there are estimated to more than 300 in Katanga alone – does not enable the State to apply control over all the operators' environmental impacts. A management model that confers on companies the responsibility for social development and environmental protection (in place of public control) clearly has its limitations".

En plus, soutient-elle dans sa conclusion: «Both the environmental liabilities and the environmental impacts of ongoing mining operation are still poorly documented, and are minimally taken into account, either by the government or the mining companies, and still less by artisanal miners. Yet the few studies that have been done illustrate that industrial-scale and artisanal activities are contributing to the rapid and sometimes irreversible degradation of ecosystems. In the main mining regions, this has a direct impact on rural populations, whose daily survival and health depend largely on access to natural resources. For this reason, in some regions, environmental degradation resulting from mining activities, both in the past and the present, are already mortgaging the mining sector's participation in the "fight against poverty".

"[...] the Congolese State does not currently possess the means to adequately apply the law, and there is a large gap between legal framework and actual practice. Moreover, the State is not in position of strength to negotiate with investors regarding the responsibilities for dealing with environmental liabilities".

Bien plus, en matière de protection de l'environnement, de conservation de la nature et de la gestion de la biodiversité tropicale, ce cadre juridique congolais a intéressé des experts de la Banque africaine de développement[6,] 2016 (année probable de production), et ceux du Programme des Nations Unies pour le développement[7,] 2007. L'étude de ces derniers experts, comprenant des Congolais, concerne le renforcement des capacités en matière de gestion de l'environnement au Congo. Leur rapport d'étude annonçait déjà la venue des lois sur la conservation de la nature, 2014, et sur la protection de l'environnement, 2011 (pp.44-45). En fait, ce rapport de 2007 a le mérite de dégager une brève description de la biodiversité congolaise (pp.11-13) et une vue générale de la recherche scientifique nationale sur cette biodiversité, correspondant ainsi à la période allant de 1925, année de création du Parc national des Virunga, Nord-Kivu, à 2007, quarante-sept ans après l'indépendance du Congo (pp. 26-35). Néanmoins, ne nous intéressent en ce rapport d'étude que les domaines de la recherche scientifique réalisée dans les institutions publiques du Congo: Instituts, Centres de recherche et Universités. Il a été désormais démontré que le Congo dispose de données précieuses sur la biodiversité tropicale et sur les ressources naturelles nationales.

[5] Voir la littérature portant essentiellement sur l'exploration, l'exploitation, le commerce et l'approvisionnement en matières premières stratégiques et /ou critiques, 1990-2017.

[6] RDC-Green Climate Fund-BAD, *Cadre de gestion environnemental et social. République démocratique du Congo: Programme mini-réseaux verts*. Kinshasa, 14-15.

[7] RDC-PNUD, *Identification et évaluation des besoins en renforcement de capacités pour la gestion de l'environnement en République démocratique du Congo. Rapport de consultation*. Kinshasa, juillet, 43-47.

Malgré la présence de ces données de recherche scientifique et du cadre juridique présenté, le Congo n'arrive pas encore à mettre en œuvre une gestion rationnelle, responsable, de ses ressources naturelles. Cette problématique de gestion des ressources nationales appelle dès lors quatre grands problèmes de la société congolaise qu'on ne devrait plus négliger: (1) mauvaise gestion des connaissances, (2) difficultés de développement de la recherche scientifique et de valorisation de ses résultats, (3) grand fossé entre communautés politiques et Etat-nation et (4) difficultés d'application effective des lois adoptés et promulgués. Tout en reconnaissant la pertinence de ces problèmes, cette étude ne peut s'y étendre. Notons néanmoins deux remarques importantes de ce rapport d'étude de 2007 en relation avec ce grand fossé sociétal ainsi qu'avec la mise en œuvre effective des lois promulguées.

En accord avec les réflexions critiques centrées sur les textes officiels (2002 et 2003) organisant et réglementant l'industrie extractive minière au Congo, les auteurs de ce rapport soutiennent, 5 ans après la promulgation du Code minier: « [...] en dépit des pressions du secteur privé en vue de l'obtention des droits miniers et/ou de carrières, il n'existe pas encore des études ayant évalué l'impact des activités de prospection et d'exploitation minière sur la diversité biologique et l'environnement ou des rapports permettant l'identification de principaux sites touchés par les activités minières. [...] En outre, la direction de l'environnement minier prévue par le code minier n'est pas encore opérationnelle [.] » (p.45).

Cette remarque requiert une précision historique: la mise en œuvre de l'industrie minière au Congo date des années 1910. Ainsi, est-il fort probable que c'est depuis 1910 qu'il n'existe pas d'études évaluatives focalisées sur l'impact des activités de cette industrie sur la biodiversité, sur la société et sur la nature.

Les difficultés relatives à l'application effective et impartiale des lois officielles apparaissent ensuite dans les conflits perçus entre communautés politiques et Etat congolais. Au sujet des terres de ces communautés, ces auteurs ont mis en relief des conflits flagrants: dépossession des terres, absence de protection pertinente et climat criminogène généré et entretenu par la politique étatique de gestion des ressources naturelles. Ainsi écrivent-ils: « Il faut [...] relever que les lois promulguées à l'époque coloniale avaient permis au colonisateur d'exploiter le sol, le sous-sol ainsi que les ressources naturelles, sans aucune perspective de gestion durable. Cependant, avec la loi du 21 juillet 1973, modifiée et complétée par la loi no 80-008 du 18 juillet 1980; on peut admettre qu'il y a eu une véritable évolution en ce qui concerne la protection des terres ».

Ensuite, poursuivent-ils en évoquant une certaine culture administrative des dirigeants congolais: « Malheureusement, ces lois sont systématiquement violées, y compris par ceux-là même qui sont chargés de les faire appliquer. De plus, la population ignore l'existence de ces textes. Cette situation engendre des nombreux problèmes, notamment (i) des conflits interminables entre individus ou communautés [...], (ii) des conflits de compétence entre services de l'Etat s'occupant de la gestion des terres, en l'occurrence les services des affaires foncières et ceux d'urbanisme, (iii) la délivrance des permis d'occupation et de construire sur des terres marginales ou réputées dangereuses [...] ».

Par conséquent, soulignent-ils: « Il existe [...] un grand fossé entre les textes fonciers, la vie des populations, les droits de l'Etat et les détenteurs du pouvoir coutumier. Il s'est donc installé une situation permanente de conflits entre l'Etat et les populations, chacun prétendant détenir des droits absolus sur les terres » (p.46). Ce grand problème autour de la gestion des terres congolaises[8] s'étend logiquement sur la gestion de toutes les ressources naturelles nationales, celles-ci étant principalement situées sur ces terres et dans leur sous-sol.

Relative au cadre juridique et institutionnel, cette dernière remarque d'experts vaut en fait pour la gestion de tous les secteurs des ressources naturelles: flore, faune, minéral et hydrocarbures. Elle trahit, de cette façon, la capacité de gestion des dirigeants de six dernières décennies.

Par ailleurs, la *Loi no 15/012 du 1er août 2015 portant régime général des hydrocarbures* ne fait aucunement mention de la notion de biodiversité: protection de la biodiversité tropicale. Certes, elle évoque au passage l'expression d'*aires protégées* (art. 155), mais demeure muette sur la protection de la biodiversité au Congo et sur la loi portant sur la Conservation de la nature, loi ayant vu le jour une année et six mois plus tôt. Il s'avère ainsi que l'industrie des hydrocarbures au Congo n'est pas légalement tenue de protéger la biodiversité tropicale d'Afrique centrale. Ce trait caractéristique la rapproche donc de l'industrie minière au Congo: voir Code minier de 2002. La simple référence à la protection de l'environnement (voir art. 1; 101; 104; 155-181) ne suffit pas pour rassurer les défenseurs de la biodiversité d'Afrique centrale.

[8] Sur cette question, peut-on également lire la remarque de Nsolotshi Malangu, 2017:50.

Il résulte de ce qui précède que les lois adoptées et promulguées sur la période considérée demeurent encore partiellement appliquées dans les actes et pratiques de l'industrie extractive et de l'administration publique. La *Loi no 15/026 du 31 décembre 2015 relative à l'eau* ne constitue donc pas une exception. D'où l'existence des dégradations écologiques et environnementales déplorées, dégradations ayant par conséquent entraîné des violations massives de la dignité humaine. La protection de la biodiversité tropicale se fait encore attendre.

Malgré l'existence de cette loi concernant la gestion de l'eau au Congo, les initiateurs et promoteurs du projet Transaqua[9] ne voulaient pas se soumettre. Il a fallu une forte pression nationale[10] pour obliger les décideurs congolais à y renoncer en 2018. Apparemment opposés à la dépossession des communautés congolaises de leurs ressources vitales, « les sénateurs congolais ont rejeté l'idée de transférer les eaux de la rivière Ubangi vers le lac Tchad. Ils se sont ainsi exprimés, vendredi 25 mai 2018 à Kinshasa, lors de la plénière sur l'examen du rapport de la commission Environnement, Ressources naturelles et tourisme sur cette question»[11].

Cette opposition à la réédition du projet *Transaqua* s'est partiellement appuyée sur cette loi *du 31 décembre 2015 relative à l'eau*. Selon cette loi, « tout transfert d'eau douce en dehors du territoire national vers le territoire d'un autre Etat est soumis à l'accord préalable du peuple congolais consulté par voie de referendum, conformément à l'article 214, alinéa 2, de la Constitution» (art. 53). Dans l'*exposé des motifs,* le législateur congolais souligne le pouvoir souverain du peuple congolais sur les ressources naturelles nationales en instaurant le *principe de consultation préalable de celui-ci par voie référendaire*. L'article cité devrait donc inspirer d'autres lois portant sur les ressources congolaises exploitées par l'industrie extractive depuis les années 1990

Nous devons désormais affirmer que le grand fossé affiché entre l'Etat congolais et les communautés politiques locales s'enracine dans l'histoire de deux derniers siècles. Le contrôle exclusif des ressources congolaises par une entité étatique appelle directement les notions de terres vacantes, de terres sans maître et du contrôle des ressources stratégiques et/ou critiques par des agents externes. Intitulé *L'Etat indépendant du Congo et les terres des indigènes,* 1956, le livre du missionnaire catholique Edmond Boelaert est éclairant sur cette question. Ses réflexions et analyses doivent introduire aux idées embryonnaires du système de gestion étatique des ressources naturelles du Congo, aux conséquences dramatiques de la mise en œuvre du mythe des terres vacantes en Afrique centrale, à la dépossession brutale des populations congolaises de leurs ressources naturelles vitales.

Autrement dit, une des sources majeures du conflit entre l'Etat congolais et ses populations se situent dans l'élaboration et la mise en œuvre de la politique foncière léopoldienne incarnant la notion des terres vacantes. La parenté entre la gestion des ressources naturelles dans les textes officiels présentés ci-dessus et l'Etat indépendant du roi Léopold II apparaît évidente: dépossession des communautés politiques légitimes de leurs ressources naturelles vitales et de leur dignité. En fait, sans l'expérience de l'empire commercial belge en Afrique, on ne peut pas comprendre le pouvoir exorbitant accordé injustement aux grandes entreprises extractives sur les communautés politiques nationales. Dans ses analyses et réflexions portant sur la période allant de 1885 à 1910, Boelaert — témoin de la tragédie des Congolais au Congo, de 1930 à 1954 — démontre la résistance des agents de l'Etat Indépendant du Congo aux critiques formulées sur la politique foncière du roi et sur des réformes décrétées entre 1885 et 1908.

En outre, dégage-t-il la « racine du mal: la théorie du domaine » qu'il explique en ces termes: « l'Etat se considère propriétaire de toutes les terres non habitées ou cultivées et prétend accepter en entier l'héritage de la spoliation » (p.60). Héritier de cette *théorie-racine du mal,* le système congolais de gestion des ressources naturelles, de 1908 à nos jours, demeure prisonnier de la vision congolaise de Léopold II. Pour Frans Buelens qui a réexaminé le régime colonial du roi en 2012, celui-ci s'est bien maintenu après octobre 1908. Dans la section intitulé *Les illusions du tournant de 1908,* il soutient en confirmant l'observation de Boelaert: « [ce tournant] a été une réalité institutionnelle, mais il a ouvert la voie à une exploitation systématique de la colonie et à une soumission politique (puis militaire) complète des Congolais. [...] La puissance et la légitimité de ce modèle économique sont destinés à persister jusqu'au grand tournant, celui de l'indépendance en 1960, et des soubresauts qui l'accompagnent, qui marquent l'effondrement du modèle initié peu avant la Première Guerre mondiale » (p. 208-209).

Concernant le domaine de l'Etat, avant la cession de l'Etat Indépendant du Congo à la Belgique, Boelaert (1956: 24) avait déjà écrit: « Pour désigner les terres « qui doivent être considérées comme appartenant à l'Etat", le décret du 17 octobre 1889 emploie

[9] Boniface Musavuli, 2018, *Le projet Transaqua et la guerre de l'eau au Congo*, https://afridesk.org/rd-congo-projet-transaqua-guerre-de-leau-b-musavuli/; https://fr.wikipedia.org/wiki/.

[10] Sur le site Internet de la *Radio Okapi*, voir à titre d'illustration les interventions du Député national Roger Mpanano, de 2014 à 2018.

[11] *RDC : les sénateurs s'opposent au transfert des eaux congolaises vers le lac Tchad*, https://www.radiookapi.net/2018/05/26/actualite/ .

le terme de « domaine de l'Etat", et celui du 9 juillet 1890 parle « des domaines de l'Etat ». Le décret du 30 octobre 1892 parle des « terres vacantes appartenant à l'Etat » (art.1), des « terres domaniales » (art. 2), des « domaines appartenant à l'Etat » (art. 3) et des « biens domaniaux » (art. 4). Enfin, le décret du 5 décembre 1892 dispose que certaines terres domaniales, celles désignées à l'article 2 du 30 octobre 1892, forme « un domaine privé de l'Etat » ».

En plus, citant la Commission sur le régime foncier, instituée par le roi le 23 juillet 1904, Boelaert écrit: « La Commission n'entend point contester la légitimité de l'appropriation des terres vacantes par l'Etat [...] ». « Comme la plus grande partie des terres [...] n'est pas mise en culture, cette interprétation accorde à l'Etat un droit de propriété absolu et exclusif sur la presque totalité des terres, avec cette conséquence qu'il peut disposer, à lui seul, de tous les produits du sol [...]; elle enserre l'activité des indigènes dans des espaces très restreints; elle immobilise leur état économique [...] ».

Par conséquent, voit-on que l'Etat congolais demeure enchâssé dans le colonialisme du XIX^{e} siècle: il néglige les droits et devoirs des communautés politiques, les nations locales, il tend ainsi à effacer leur histoire économique et politique: leur expérience cognitive et culturelle. C'est dans cette perspective qu'il est possible de bien comprendre des grands problèmes fonciers du Kivu et de l'Ituri, entre autres provinces congolaises. Constitué par décret le 13 janvier 1928, le *Comité National du Kivu* apparait ici comme illustration de l'exploitation agricole: son histoire économique et commercial et son héritage postcolonial conflictuel. Dorénavant, l'histoire compte. Elle ne pourrait jamais être évacuée de l'évaluation des questions sociétales et écologiques.

Derrière cette lecture critique, on doit remarquer trois erreurs monumentales de l'Etat congolais: (1) la conception, l'adoption et la promulgation des codes miniers et forestiers (2002) avant l'existence des lois pertinentes portant sur la protection de l'environnement et sur la conservation de la nature, (2) le silence sur les droits et devoirs des communautés politiques locales et (3) la négligence du capital humain ayant des compétences requises pour la mise en œuvre de ces lois considérées et leur évaluation, et pour le contrôle effectif des agents de l'industrie extractive. Il s'avère dès lors que l'on a mis la charrue avant les bœufs. D'où des conséquences déplorables évoquées sur les populations congolaises et sur la biodiversité tropicale depuis 1996.

4 PROBLÉMATIQUE DE LA BIODIVERSITÉ

Les idées répertoriées dans les lois congolaises considérées et la critique centrée sur la gestion des ressources naturelles au Congo et sur les dégradations écologiques y relevées introduisent à la problématique de la biodiversité. Avant de conclure ces réflexions, il convient d'aborder brièvement cette problématique au cœur des questions écologiques examinées. La définition de la biodiversité permet de bien comprendre ce qui précède et de consolider le respect des communautés politiques locales et la protection de la biodiversité tropicale. Aussi facilite-t-elle une bonne compréhension de la dépendance de l'homme à la nature et des erreurs de l'anthropocentrisme.

Dans son analyse de *l'économie de la biodiversité,* Partha Dasgupta (2021: 21,31,487) souligne le lien entre la nature et l'homme, la dépendance de l'homme à son lieu d'existence: la nature. Notons en fait ses expressions lapidaires: " [...] we are embedded in Nature, we are not external to it". "We are a part of the biosphere; we are not external to it." " [As human beings], we ourselves are part of biodiversity."

Répondant à la question qu'est-ce que la biodiversité, Dasgupta écrit: "Biodiversity is the diversity of life" (p.4). Il précise ensuite cette définition en s'appuyant sur *la Convention sur la diversité biologique* (Nations Unies, 1992): "The variety of life in all its forms, and at all levels, including genes, species, and ecosystems. The CBD [Convention on Biological Diversity] defines biodiversity as 'the variability among living organisms from all sources, including, inter alia, terrestrial, marine and other aquatic ecosystems and the ecological complexes of which they are part; this includes diversity within species, between species and of ecosystems' " (p. 503).

Au sujet du changement requis en vue d'arrêter les dégradations écologiques et environnementales et de protéger par conséquent la biodiversité, Dasgupta (2021: 487) soutient: "To pursue a sustainable future will require a transformative change in our mode of thinking and acting. [...] The extent to which we have collectively degraded the biosphere has created extreme risks and uncertainties, endangered our economies and livelihoods, and given rise to existential risks for humanity".

La section précédente tend à consolider cette proposition de Dasgupta, à affirmer la pertinence des études focalisées sur la responsabilité écologique, la biodiversité tropicale n'étant pas encore réellement protégée en RD du Congo. Cherchant à promouvoir une *science de la biodiversité au service du bien-être humain,* l'étude Kamaljit S. Bawa et al. (2020: 25952) devrait interpeller les gestionnaires des ressources naturelles du Congo et les agents de l'industrie extractive dans ses provinces orientales. Avant d'exposer l'étude de cas de la République de l'Inde, ils affirment: "We suggest that our framework provides a model for other nations and regions for integrating science with policies to enhance human well-being, restore and conserve

nature, and build capacity. Without such efforts, countries in the global South, extraordinarily rich in biodiversity, critical for planetary health, will continue to lose biodiversity despite well-intended ideas and concepts originating from the North".

Les gestionnaires des ressources naturelles d'Afrique centrale et les chercheurs évoluant en cette région africaine ne pourraient pas négliger l'analyse et les préoccupations des experts du pays de Mohandas K. Gandhi, ni l'apport de l'étude de Partha Dasgupta. Leur vision de la science de la biodiversité doit inspirer. Concluant leurs réflexions, les experts indiens (2020: 25954) soutiennent: "This vision of biodiversity science aims to serve humanity and to meet our most pressing challenges in agriculture and food security, health, climate change and disaster risk management, ecosystem functioning, bioeconomy, and capacity building as well as in policies and strategies related to conservation, besides restoration, sustainable and equitable use, and decentralized management of biodiversity".

"Furthermore, we propose that biodiversity science may turn out to be the most critical science in meeting Sustainable Development Goals and Targets. By investing in this vision, India and other countries can embark on a path in which the maintenance of biodiversity is recognized as a fundamental cornerstone of development planning and human well-being".

Six ans avant la publication de cette étude indienne, Sophie Lavallée (2014: 117) soutenait que "les Etats ont besoin de données scientifiques fiables pour fonder leurs décisions, leurs politiques et leurs législations". Aucun chercheur congolais attentif aux activités de l'industrie extractive et à la politique de mise oeuvre des lois congolaises considérées ne pourrait jamais contester la nécessité de telles données scientifiques, ni les escamoter. La réduction des dégradations environnementales et des abus de l'industrie extractive, et le contrôle de la complicité entre dirigeants industriels et dirigeants politiques dans la commission des crimes écologiques sur le territoire congolais (Oyeniyi Abe and Ada Ordor, 2018; David Simon, 2012; Emilie Gaillard, 2012) requierèrent désormais des connaissances pertinentes et une application judicieuse du cadre juridique existant, bien que celui-ci ne soit pas encore robuste.

5 CONCLUSION

Cette étude a réussi à mettre en évidence des notions de biodiversité contenues dans les lois examinées, à définir l'idée de diversité biologique. Elle a ensuite démontré la pertinence des questions environnementales et écologiques abordées tout en soulignant le lien de dépendance de l'homme à la nature. Du fait que l'homme est une des composantes de la biodiversité, un être parmi d'autres de la nature, la gestion des ressources naturelles requiert désormais plus de rationalité et de responsabilité, plus d'attention à l'équilibre écologique et aux besoins des générations futures. La gestion de ces ressources constitue donc un des plus grands défis pour les Congolais de notre temps.

Tenant compte de ce qui précède nous devons affirmer que l'objectif de cette étude a été atteint: (1) déceler les notions de biodiversité dans les lois présentées, (2) examiner la pertinence du cadre juridique congolais par rapport aux dégradations environnementales, sanitaires, écologiques et axiologiques et (3) évaluer la qualité d'application des lois promulguées, lesquelles portent sur la gestion des ressources naturelles du Congo. On doit dès lors remarquer que le défi de la gestion des ressources naturelles présuppose un autre grand défi: celui de l'économie des ressources cognitives et des valeurs culturelles et écologiques.

Conformément à la période considérée, cette étude n'intègre pas les textes juridiques produits et mis en œuvre après 2016. Bien plus, elle se limite à quelques textes pertinents du cadre juridique de la période définie. Ainsi importe-t-il de bien vérifier, dans des projets de recherche à venir, si *le Code minier, modifié et complété,* promulgué en 2018 ainsi que *le Décret présidentiel* correspondant ont réellement tenu compte d'autres lois considérées ci-dessus, de la critique des chercheurs présentée et de résultats de la recherche en sciences relatives à la gestion des ressources naturelles.

Cependant, les résultats de cette étude appellent des analyses évaluatives focalisées sur les politiques de mise en œuvre des lois promulguées entre 2002 et 2022, lois portant sur la gestion des ressources naturelles. Puis, attirent-ils l'attention des chercheurs sur la nécessité d'approfondir les résultats de la recherche centrée sur la biodiversité tropicale d'Afrique centrale. Les réflexions et analyses de cette étude apparaissent ainsi comme une introduction à une gestion responsable des ressources naturelles en République démocratique du Congo et dans les autres pays d'Afrique centrale. Les dégradations environnementales, écologiques, sociales, sanitaires et axiologiques[12] indiquées dévoilent dès lors la tragédie congolaise, autre défi lié aux deux précédents.

[12] Dévaluation systématique des valeurs humaines et/ou anthropologiques.

Ceux qui sont intéressés par ces défis d'Afrique centrale doivent reconnaître la pertinence de *quatre problèmes congolais* mis en relief, de *quatre phénomènes sociaux* indiqués et de *trois erreurs monumentales de l'Etat congolais* énumérés ci-dessus (voir section 3). Ils pourraient par ailleurs discerner la nécessité de l'éthique dans la gestion des ressources naturelles et dans la pratique de la vie organisationnelle et industrielle (Le GLA 2000, 2011).

Préfaçant le livre de Hans Jonas, intitulé *Une éthique pour la nature,* Aymeric Caron écrit: « Puisque nous avons désormais pouvoir sur la biosphère, il en découle une responsabilité dont nous ne saurions nous exonérer. [...]. En clair, l'éthique du prochain qui alimente aussi bien les religions que les politiques sociales ne doit plus s'appliquer uniquement aux humains, mais aussi au vivant avec lequel il interagit » (2017: 10).

REFERENCES

[1] RD du Congo, « Loi no 15/026 du 31 décembre 2015 relative à l'eau, » Journal officiel de la République démocratique du Congo, no spécial du 13 janvier 2016, 57e année, 1-38.

[2] RD du Congo, Loi no 15/012 du 1er août 2015 portant régime général des hydrocarbures. Lubumbashi.

[3] RD du Congo, Décret no 14/019 du 2 août 2014 fixant les règles de fonctionnement des mécanismes procéduraux de la protection de l'environnement. Kinshasa.

[4] RD du Congo, Loi no 14/003 du 11 février 2014 relative à la Conservation de la nature. Kinshasa.

[5] RD du Congo, « Loi no 11/009/2011 du 9 juillet 2011 portant principes fondamentaux relatifs à la protection de l'environnement, » *Journal officiel de la République démocratique du Congo, no spécial du 16 juillet 2011, 52e année,* 2-29.

[6] RD du Congo, *Loi no 11/022* du 24 décembre 2011 portant principes fondamentaux relatifs à l'agriculture. Kinshasa.

[7] RD du Congo, « Décret No 038/2003 du 26 mars 2003 portant règlement minier, *» Journal officiel de la République Démocratique du Congo du 1er avril 2003*.

[8] RD du Congo, « Loi no 011/2002 du 29 août 2002 portant Code forestier, » Journal Officiel de la République démocratique du Congo, no spécial du 6 novembre 2002, 43e année, 4-33.

[9] RD du Congo, « Loi No 007/2002 du 11 juillet 2002 portant Code Minier, *» Journal officiel* de la République Démocratique du Congo, 43e année, numéro spécial *du 15 juillet 2002*.

[10] RD du Congo, « Ordonnance-loi no 69-041 du 22 août 1969 relative à la Conservation de la nature, » *Moniteur congolais, no 18 du 15 septembre 1969,* 739-744.

[11] Abe, Oyeniyi and Ordor, Ada, 2018, « Addressing Human Rights Concerns in the Extractive Resource Industry in Sub-Saharan Africa using the lens of Article 46 (c) of the Malabo Protocol, » *Law and Development Review, Vol. 11, No 2,* 843-878.

[12] Anthony, Nicola M., et al., 2015 (2014), « Evolution and Conservation of Central African Biodiversity: Priorities for Future Research and Education in the Congo Basin and Gulf Guinea, » *Biotropica Review, Vol. 47, No 1,* 6-17.

[13] Bashizi, Anuarite et al., 2016, *Exploitation minière en RDC: Oubli de l'environnement ? Vers une political ecology,* In Stefaan Marysse et Jean Omasombo, direction, Conjonctures congolaises 2015: Entre incertitudes politiques et transformation économique, Paris: MRAC & L'Harmattan, 277-297.

[14] Bawa, Kamaljit S. et al., 2020, « Envisioning a biodiversity science for sustaining human well-being,» *PNAS, Vol. 117, No 42,* 25951-25955.

[15] Boelaert, Edmond, 1956, L'Etat indépendant et les terres indigènes. Académie royale des sciences coloniales: Mémoires in-8°, Nouvelle série, tome V, fascicule 4. Bruxelles: Editions J. Duculot.

[16] Buelens, Frans, 2012, « Le tournant de 1908: de l'Etat indépendant du Congo au Congo belge, » *Outre-mers, tome 100, nos 376-377,* 197-209.

[17] Byaro, Mwowa, et al., 2023 (2022), «Exploring the nexus between natural resource depletion, renewable energy use, and environmental degradation in Sub-Saharan Africa,» *Environmental Science and Pollution Research, Vol. 30,* 19931-19945.

[18] Cigorogo, Jérôme R. et al., 2020, « Mise en œuvre du système d'études d'impact environnemental dans le secteur minier congolais: une vision stratégique de développement durable ou une approche conceptuelle ? » *International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 28, No 2,* 487-497.

[19] Dasgupta, Partha. 2021. The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review, London, UK: HM Treasury.

[20] Djani, Salakiaku Lutadila et al., 2022, « Pollution des eaux de surface et ses conséquences sur les écosystèmes aquatiques et les humains: cas de la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo (Synthèse bibliographique), » *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture, vol. 5, no 4,* 160-167.

[21] Dmoergue, Chloe, et Mbunga, Augustin Mpoyi, 2012, *La gestion des ressources naturelles pour une croissance durable,* In Johannes Herderschee, Daniel Mukoko Samba et Moïse Tshimenga Tshibangu, Editeurs, Résilience d'un géant africain: Accélérer la croissance et promouvoir l'emploi en République Démocratique du Congo, vol. 2: Etudes sectorielles, Kinshasa: Médiaspaul, 99-183.

[22] Gaillard, Emilie, 2012, «Des crimes contre l'humanité aux crimes contre les générations futures: vers une transposition du concept éthique de responsabilité transgénérationnelle en droit penal international ?» *McGill International Journal of Sustainable Development Law and Policy, Vol. 7, No 2,* 181-202.
[23] Huggins, Chris & Paluku, Christol Mastaki, 2020, «The political economy of land and policy reform in the Democratic Republic of Congo: an institutional bricolage approach,» *Canadian Journal of Development Studies, Vol. 41, No 2,* 260-278.
[24] Ilunga, Sylva Munyungu, 2020, «Evolution du droit foncier en République démocratique du Congo: Regard sur la gestion des terres,» *International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 28, No 2,* 418-427.
[25] Jonas, Hans, 2017, *Une éthique pour la nature,* Paris: Flammarion.
[26] Kalala, Serge Kashimbo, et al., 2016, «Diagnostic de la contamination des eaux de la rivière Mulungwishi par les éléments traces métalliques (ETM): Lubumbashi, Haut-Katanga / RD Congo,» *International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 17, No 1,* 204-2014.
[27] Kitoga, M. J., and Wafula, M.D., 2018, « Incidence de la pollution des eaux du lac Kivu sur sa biodiversité: cas du tronçon Place de l'Indépendance – Kazingo à Bukavu, » *International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 24, No 4,* 1523-1536.
[28] Lavallée, Sophie, 2014, « La biodiversité: un pilier pour le développement durable « post-Rio + 20 » ? » *Environmental Protection and Sustainable Development from Rio + 20, Vol. 15,* 100-129.
[29] Le GLA 2000, 2011, L'exploitation du Pétrole congolais: lieu d'application des valeurs morales d'intégrité? https://www.globethics.net/network/globethics.net/forum/.
[30] Mandele, Matthieu Sekalo, et al., 2021, «Analyse socio-environnementale d'espèces halieutiques menaces d'extinction sur le fleuve Congo et son hinterland dans la province de l'équateur (RDC),» *International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 32, No 4,* 742-753.
[31] Mandjo, Benjamin L., et al., 2015, «Biodiversité dans la stratégie alimentaire des Pygmées Batwa de la région du lac Tumba, République démocratique du Congo,» *International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 11, No 3,*742-753.
[32] Marriage, Zoë, 2018, «The elephant in the room: offshore companies, liberalization and extension of presidential power in DR Congo,» *Third World Quarterly, Vol. 39, No 5,* 889-905.
[33] Mazalto, Marie, 2009, *Environmental Liability in the Mining Sector: Prospects for Sustainable Development in the Democratic Republic of the Congo,* In Jeremy P. Richards, Editor, Mining, Society and a Sustainable World, Heidelberg et al.: Springer-Verlag, 289-317.
[34] Muteya, Héritier Khoji, et al., 2022, « Quantification and Simulation of Landscape Anthropization around the Mining Agglomerations of Southeastern Katanga (RD Congo) between 1979 and 2090, » *Land Journal, Vol. 11, No 850,* 1-17.
[35] Mwitwa, Jacob et al., 2012, «Governance and sustainability challenges in landscapes shaped by mining: Mining-forestry linkages and impacts in the Copper Belt of Zambia and the DR Congo,» *Forest Policy and Economics, Vol. 25,* 19-30.
[36] Nations Unies, 1992, *Convention sur la diversité biologique*. https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf.
[37] Nsolotshi, Malangu, 2017, Module de vulgarisation de la loi foncière de la RDC, Kabinda, Novembre.
[38] RDC-Green Climate Fund-BAD, 2016 (année probable de publication), Cadre de gestion environnemental et social. République démocratique du Congo: Programme mini-réseaux verts. Kinshasa.
[39] RDC-PNUD, 2007, Identification et évaluation des besoins en renforcement de capacités pour la gestion de l'environnement en République démocratique du Congo. Rapport de consultation. Kinshasa, juillet.
[40] Reyniers, Camille, 2021, «Reducing deforestation and forest degradation in Democratic Republic of Congo: market-based conservation in context of limited statehood,» *Review of African Political Economy, Vol. 48, No 170,* 509-528.
[41] Simon, David R., 2012 (2000), « Corporate Environmental Crimes and Social Inequality: New Directions for Environmental Justice Research, » *American Behavioral Scientist, Vol. 43, No 4,* 633-645.
[42] Van Leeuwen, Mathijs et al., 2022, « From resolving land disputes to agrarian justice – dealing with the structural crisis of plantation agriculture in eastern Congo, » *The Journal of Peasant Studies, Vol. 49, No 2,* 309-334.
[43] Yombo, Rodriguez, 2019, *Dégradation de la qualité de l'air à Kinshasa* / Célébration de la journée mondiale de l'environnement à Kinshasa. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/247161/1/BIOGENESE_2019.pdf.
[44] Zafrani, Avishag, 2016, « Hans Jonas: la question de l'avenir, » *Archives Philosophiques, no 79,* 523-524.
[45] Zbinden, Raphaël, 2019, Sœur Nathalie, la petite religieuse qui fait face aux grandes multinationales, https://www.cath.ch/newsf/.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1016-1031
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Influencia del tamaño de semilla en la productividad y el valor nutricional del maíz para ensilado

[Influence of seed size on productivity and nutritional value of maize silage]

Claudia Pérez Mendoza[1], Ma. del Rosario Tovar Gómez[2], Gabino Garcia de los Santos[3], and María Magdalena Crosby Galván[4]

[1]Programa de Recursos Genéticos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, Mexico

[2]Programa de Forrajes, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, Mexico

[3]Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mexico

[4]Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mexico

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Mexico, the relationship of seed size with the productive and nutritional potential of maize silage needs to be studied. Thus, this study investigated the effect of seed size on yield and the nutritional value at the cutting stage for silage of various maize varieties. The research consisted of two phases: the productivity of maize for silage and the nutritional value estimated in the laboratory. Nine maize varieties, previously classified by their seed size, were used: flat large and flat medium. The experimental design was a randomized complete block with factorial arrangement and four repetitions. The harvest was carried out at the silage-cutting stage (30-35% DM, whole plant). Results for each estimated variable showed significant differences (P<0.001) among varieties, while seed size was significant for only some variables. Based on the absolute value of the standardized coefficients, the outstanding variables were female flowering, total protein, in vitro digestibility, and dry matter yield. In conclusion, maize variety for silage affects the productivity and nutritional value in the cutting stage. In contrast, the effect of seed size on protein yield, protein content, and plant digestibility was minor. The materials Campeón, H-135, H-157, HS-2, and A-791 yielded the highest, while the nutritional value of H-135, Campeón, HS-2, VS-22, and H-358 was outstanding.

KEYWORDS: Seed Size, Protein Yield, *In Vitro* Digestibility, Nutritional Value.

RESUMEN: En México la relación que el tamaño de semilla tiene con el potencial productivo y nutricional del maíz para ensilado no se ha estudiado. El objetivo fue determinar si el tamaño de semilla influye sobre el rendimiento y el valor nutricional en la etapa de corte para ensilado en diferentes variedades de maíz. La investigación consistió en dos fases: en la primera, se evaluó la productividad del maíz para ensilado y en la segunda, se determinó el valor nutricional en laboratorio. Se utilizaron nueve variedades de maíz previamente clasificados en dos tamaños de semilla: plano grande y medio. El diseño experimental utilizado en cada fase fue bloques completos al azar con arreglo factorial y cuatro repeticiones. La cosecha se realizó en la etapa de corte para ensilado (30-35% MS, planta completa). Hubo diferencias significativas (P<0.001) en todas las variables evaluadas para variedades; en tamaño de semilla solo hubo significancia en algunas variables. En función del valor absoluto de los

Corresponding Author: Ma. del Rosario Tovar Gómez

coeficientes estandarizados, las variables relevantes fueron floración femenina, proteína total, digestibilidad *in vitro* y rendimiento de materia seca. Se concluye que la variedad afecta la productividad y el valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado; mientras que el tamaño de semilla, sólo presentó un ligero efecto en el rendimiento de proteína por hectárea, contenido de proteína y en la digestibilidad de la planta. Los materiales Campeón, H-135, H-157, HS-2 y A-791 fueron los de mayor productividad y en cuanto al valor nutricional estuvieron H-135, Campeón, HS-2, VS-22 y H-358.

PALABRAS-CLAVES: Tamaño de Semilla, Rendimiento de Proteína, Digestibilidad *in vitro,* Valor Nutricional.

1 INTRODUCCIÓN

En México, el maíz conservado como ensilado, es un alimento energético muy importante para la alimentación de animales rumiantes, principalmente el ganado productor de leche. A nivel nacional y para el año 2022, con base en las estadísticas reportadas por el [1], se sembraron 570,384.88 ha^{-1} de maíz forrajero y las entidades que presentaron la mayor superficie sembrada fueron Jalisco, Zacatecas, Durango, Aguascalientes, Chihuahua y Estado de México.

En México, la investigación de maíz se ha orientado principalmente a la generación de nuevas variedades para incrementar los niveles de rendimiento de grano por unidad de superficie, por lo cual se han liberado híbridos o variedades adaptables a las condiciones ambientales del país. En contraste, muy pocos programas de mejoramiento genético han tenido como objetivo el seleccionar el maíz para uso exclusivo de forraje. El criterio de selección en esos programas se ha basado principalmente en el rendimiento de materia seca y no se ha considerado la calidad nutricional como un parámetro de evaluación adicional [2].

Recientemente, [3] recomiendan tomar en cuenta para la selección de híbridos de maíz, la altura de planta, el área foliar, alta productividad de grano, resistencia a plagas, adaptación a condiciones edáficas, resistencia al acame y un ciclo vegetativo compatible con el manejo de corte de la planta para ensilar. Por su parte, [4] mencionan que entre las características que deben considerarse en un híbrido de maíz para forraje, es el índice de cosecha ya que este se relaciona con una mayor proporción de grano con respecto al forraje, lo que incrementa la palatabilidad, el nivel de energía y la digestibilidad.

Por otra parte, en México, algunos estudios se han realizado con la finalidad de demostrar la influencia que tiene el tamaño de semilla de maíz en el establecimiento en campo, en las características agronómicas o en el rendimiento del grano; sin embargo, se consideran escasos los estudios en donde los esquemas de investigación del maíz para forraje incluyan al tamaño de semilla como un ingrediente que se relacione con atributos agronómicos, de productividad y de calidad de híbridos o variedades de maíz con potencial forrajero.

En ese contexto [5] menciona que, al realizar la clasificación del maíz por su forma y tamaño de la semilla, se obtiene una mejor calidad física e inclusive en otros atributos, tal como un mayor contenido de proteína de la semilla. Tomando en cuenta lo anterior, se realizó la presente investigación con el siguiente objetivo: Determinar si el tamaño de semilla tiene influencia sobre la productividad y el valor nutricional en la etapa de corte para ensilado en diferentes variedades de maíz.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

El estudio se llevó a cabo en dos localidades del Estado de México (Tecámac en el Distrito de Zumpango, ubicada a los 19° 42´ de latitud norte, 98° 58´ de longitud oeste y una altitud de 2260 m y, Coatlinchán en el Distrito de Texcoco localizada a los 19° 29’ latitud norte y 98° 53’ longitud oeste con una altitud de 2250 m), durante el ciclo primavera-verano. Los análisis de valor nutricional se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México.

2.2 MATERIAL GENÉTICO

El material genético utilizado consistió de nueve diferentes variedades de maíz: seis híbridos (H-157E, H-135, A-791, Promesa, HS-2 y H-358), dos variedades sintéticas (VS-2000 y VS-22) y un criollo (Campeón). Las semillas de estos materiales fueron seleccionadas mediante cribas para obtener dos formas y tamaños de cada variedad: plano grande (PG) y plano medio (PM).

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado fue series de experimentos en bloques al azar factorial de tratamientos en donde, se consideró a las localidades (Tecámac y Coatlinchán), bloques, variedades de maíz para forraje (nueve variedades) así como los tamaños de semilla (plano grande y medio) como fijos. y con cuatro repeticiones.

2.4 MANEJO CULTIVO

La densidad utilizada fue de 80,000 plantas ha^{-1}. La fertilización del cultivo se hizo mediante la fórmula: 180-90-30 que es la recomendada, para la producción de maíz forrajero en el Estado de México, aplicándose en dos partes: la primera al momento de la siembra con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y el potasio y la segunda a los cuarenta días después de la siembra, aplicándose el resto del nitrógeno. Las fuentes fueron: urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (60%) [6].

La cosecha se realizó en la etapa de corte para ensilado (30-35% MS de la planta). El forraje se cosechó, picó y secó (60 ºC) para la determinación de la materia seca (MS); luego se molió (1 mm) para las determinaciones de los análisis de valor nutricional.

2.5 VARIABLES EVALUADAS

Las variables registradas en campo fueron: días a floración femenina (FF) y masculina (FM), altura de la planta (AP), altura de mazorca (AM), diámetro del tallo (DT), diámetro del nudo de inserción de la mazorca (DM), índice de cosecha (IC), rendimiento de forraje verde (RFV) y seco (RMS).

Las variables de valor nutricional evaluadas fueron: materia seca total (MST): a las muestras se les determinó el contenido de materia seca total siguiendo el método descrito por la [7]. El porcentaje de materia seca total (MST) obtenido, se utilizó para reportar los datos de cada uno de los análisis en 100% base seca; contenido de proteína cruda de la planta completa (PC), se determinó siguiendo el método de Microkjendahl, descrito por la [7]; la cantidad de nitrógeno total se expresa en términos de proteína, utilizando como factor de conversión 6.25; digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de la planta completa, se realizó por el método de [8] modificado por [9]. Con los datos de rendimiento de forraje seco, proteína cruda de la planta completa y la digestibilidad *in vitro* (DIVMS).se generaron las variables de rendimiento de proteína (RCP) y de materia seca digestible (RMSD) por hectárea.

2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En cada una de las variables se realizó el análisis de varianza univariado (ANAVA) de acuerdo con el diseño de la serie de experimentos en bloques al azar factorial; todo esto se realizó utilizando el paquete estadístico [10]. Se hizo la comparación de medias para los experimentos individuales y en conjunto, de aquellas variables que resultaron significativas en los ANAVA´S con base en la prueba de rango múltiple (Tukey, α=0.05). Adicionalmente, la información se sometió a la metodología multivariada de colinealidad, excluyendo variables que tuvieran inconsistencia en su medición o se asociaran con otras variables del estudio; posteriormente, se llevó a cabo el análisis multivariado (MANOVA) y discriminante canónica (CANDISC), utilizando los procedimientos PROC REG ALL, PROC MANOVA y PROC CANDISC del SAS [10].

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS UNIVARIADO

El análisis de la información proveniente de la serie de experimentos (SEFABA) indicó diferencias significativas ($P \leq 0.001$) para localidad (L) en la mayoría de los parámetros evaluados a excepción de DT, RMS, RPC y RMSD ($P \geq 0.05$) y para la variedad (V) se encontró diferencias en todos los parámetros evaluados ($P \leq 0.001$). El tamaño de semilla (TS) sólo tuvo efecto en RPC, PC y DIVMS ($P \leq 0.001$) mientras que en las interacciones V*x*TS, L*x*V, L*x*TS y L*x*V*x*TS fueron significativas ($P \leq 0.001$) sólo en algunos parámetros de rendimiento y de valor nutricional (Tabla 1).

Con el fin de detectar qué variables respondieron mejor en este estudio, se procedió a realizar la comparación de medias de Tukey por localidad, variedad, tamaño de semilla y las combinaciones generadas de estos tres factores.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de la serie de experimentos de bloques al azar con arreglo factorial, para las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional evaluadas en la etapa de corte del maíz para ensilado.

	Variables												
FV	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	AM (cm)	DT (cm)	DM (cm)	IC	RFV (t ha^{-1})	RMS (t ha^{-1})	RPC (t ha^{-1})	RMSD (t ha^{-1})	PC (%)	DIVMS (%)
Localidad (L)	27.56 *	10.563 *	9893.6 **	16716.3 **	0.06 ns	0.26 **	0.24 **	2146.0 **	17.5 ns	0.03 ns	62.0 ns	2.9 **	5.9 *
Variedad (V)	773.58 **	746.78 **	4714.3 **	4977.5 **	0.83 **	0.23 **	0.04 **	334.0 **	38.5 **	0.29 **	36.0 **	2.3 **	380.2 **
Tamaño de semilla (TS)	0.17 ns	0.56 ns	405.4 ns	6.5 ns	0.00001 ns	0.00001 ns	0.0004 ns	67.4 ns	24.7 ns	0.44 **	0.17 ns	17.2 **	90.2 **
V*x*TS	2.58 ns	1.42 ns	272.2 ns	63.5 ns	0.02 ns	0.02 ns	0.008 ns	98.1 *	24.7 **	0.09 **	7.0 **	0.09 **	3.0 **
L*x*V	6.28 *	4.20 ns	136.3 ns	604.5 **	0.16 *	0.18 **	0.01 **	256.3 **	24.0 **	0.09 ns	8.0 **	1.3 **	17.5 **
L*TS	5.06 ns	2.00 ns	165.6 ns	2.6 ns	0.08 ns	0.07 ns	0.01 ns	45.5 ns	5.8 ns	0.04 ns	8.2 ns	0.003 ns	17.0 **
L*x*V*x*TS	3.28 ns	2.08 ns	150.4 ns	217.3 ns	0.07 ns	0.02 ns	0.01 **	32.1 ns	2.1 ns	0.03 ns	1.6 ns	0.37 **	2.9 *
B(L)	3.36 ns	4.59 ns	8781.9 **	2378.6 **	0.33 ns	0.33 ns	0.003 ns	525.9 **	37.8 **	0.41 **	23.7 **	0.02 **	0.6 ns
CV (%)	1.7	1.7	7.3	8.9	8.5	7.5	15.0	10.5	12.7	11.3	10.9	0.82	1.4

*FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; DT = diámetro del tallo; DM = diámetro del nudo de la mazorca; IC = índice de cosecha; RFV = rendimiento de forraje verde; RMS = rendimiento de materia seca; RPC = rendimiento de proteína por hectárea; RMSD = rendimiento de materia seca digestible; PC = proteína en planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de planta completa. **, *= significancia estadística al 0.001 y 0.05 de probabilidad; ns = no significativo*

El efecto de la localidad se puede observar en la Tabla 2, en donde se presentan los valores de las variables que presentaron diferencia estadística significativa (P≤0.05). En Tecámac las alturas AP y AM, así como RFV y la DIVMS, tuvieron valores más altos comparado con la localidad de Coatlinchán, por el contrario, en esta última localidad, la floración (FF y FM), el IC y el contenido de PC fueron mayores que en la localidad de Tecámac.

Tabla 2. Comparación de medias por localidad para las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional evaluadas en la etapa de corte del maíz para ensilado.

	Variables[†]							
Localidad	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	AM (cm)	IC	RFV (t ha^{-1})	PC (%)	DIVMS (%)
Tecámac	99 b	89 b	259 a	157 a	0.35 b	66.1 a	7.9 b	68.0 a
Coatlinchán	100 a	90 a	242 b	135 b	0.43 a	58.4 b	8.6 a	67.6 b

[†]FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; IC = índice de cosecha; RFV = rendimiento de forraje verde; PC = proteína en planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de planta completa. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey P < 0.05).

Tomando en cuenta la comparación de medias de las variables evaluadas (Tabla 3) se observa que en la mayoría de las variedades utilizadas fueron de ciclo tardío (>92 días de FF) a excepción de la variedad sintética VS-22 que fue de ciclo intermedio con 88 días de FF. Respecto a la altura de la planta, la variedad sintética VS-2000 fue la de mayor porte (288 cm) y el híbrido Promesa presentó una altura menor (229 cm). Si se consideran los parámetros de rendimiento (RMS, RMSD y RPC),

el criollo Campeón y los híbridos HS-2, H-135 y H-157 fueron los más productivos. Además, estos materiales también presentan un buen valor nutricional a excepción del H-157 que obtuvo menor contenido de PC y DIVMS. Asimismo, la variedad VS-22 aunque no tiene un rendimiento elevado, si posee buena calidad nutricional.

Tabla 3. Variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional de las variedades de maíz para ensilado evaluadas en dos localidades del Edo. de México.

	Variables[†]												
Variedad	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	AM (cm)	DT (cm)	DM (cm)	IC	RFV (t ha^{-1})	RMS (t ha^{-1})	RPC (t ha^{-1})	RMSD (t ha^{-1})	PC (%)	DIVMS (%)
H-157	104	96	256	151	2.9	2.2	0.41	65.6	24.2	1.8	15.6	7.6	64.4
H-135	103	96	248	148	3.0	2.3	0.35	65.3	22.9	2.0	16.4	8.5	71.7
A-791	105	96	233	129	3.9	2.2	0.37	57.0	22.5	1.8	12.7	8.0	56.7
VS-2000	102	88	288	182	2.9	2.3	0.33	68.2	20.4	1.6	13.4	8.1	65.8
Campeón	94	84	255	157	2.8	2.2	0.34	65.9	23.4	2.1	16.8	8.8	71.5
Promesa	94	84	229	123	2.6	2.1	0.44	57.9	20.4	1.8	13.9	8.7	68.3
HS-2	94	85	258	147	2.6	2.0	0.47	63.3	23.0	1.8	16.6	7.9	70.7
VS-22	88	81	243	145	2.8	2.2	0.40	61.9	20.1	1.7	14.1	8.4	70.2
H-358	109	101	244	132	3.3	2.5	0.37	55.2	20.6	1.7	14.6	8.1	70.9
Media	89	81	250	146	2.9	2.2	0.39	56.0	19.8	1.6	13.4	7.4	61.0
(P<0.05) DMSH	1.88	1.73	20.6	14.7	0.27	0.19	0.07	7.29	3.1	0.23	2.09	0.08	1.08

[†]FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; DT = diámetro del tallo; DM = diámetro del nudo de la mazorca; IC = índice de cosecha; RFV = rendimiento de forraje verde; RMS = rendimiento de materia seca; RPC = rendimiento de proteína por hectárea; RMSD = rendimiento de materia seca digestible; PC = proteína en planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de planta completa. DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

En la serie de experimentos, el tamaño de semilla tuvo efecto significativo (P≤0.05) en RPC, PC y DIVMS. En la Figura 1, se puede observar que, al utilizar semilla de tamaño grande, se presentó un ligero incremento en RPC, PC y DIVMS comparada con la semilla de tamaño medio.

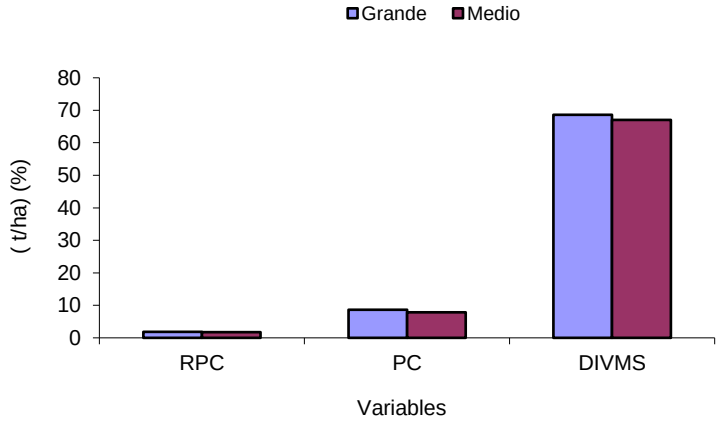


Fig. 1. Diferencias registradas entre tamaños de semilla para rendimiento de proteína (RPC), proteína total (PC) y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS).

Respecto a las combinaciones de variedad por tamaño de semilla (VxTS), localidad por variedad (LxV) y localidad por variedad por tamaño de semilla (LxVxTS) se observa que las diferencias encontradas en algunos parámetros evaluados se deben a que el factor de variación principal fue la variedad utilizada, la localidad de estudio y es muy importante mencionar, que el bloque anidado en la localidad tuvo una participación relevante más que el tamaño de semilla objeto de este estudio.

3.2 ANÁLISIS MULTIVARIADO

Las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional, evaluadas en la etapa de corte del maíz para ensilado se sometieron a distintas metodologías multivariadas, excluyendo las variables FM, AM, DT, DM, RFV, RPC y RMSD por presentar colinealidad con FF, AP y RMS. El análisis de varianza multivariado (MANOVA) permitió detectar diferencias significativas entre localidad (L), variedad (V), tamaño de semilla (TS) e interacciones de V*x*TS, L*x*V y L*x*V*x*TS ($P \leq 0.0001$), lo que indica que, en conjunto, las variables analizadas afectaron los criterios de clasificación, por lo que fue factible someterlas a distintas metodologías de análisis multivariado, decidiéndose realizar el Análisis Discriminante Canónico (CANDISC).

El CANDISC mostró (Tabla 4) que el factor localidad en una sola variable canónica (CAN1) se acumuló el 100% de la variación total y resultando significativa ($P \leq 0.0001$). Las medias de clase para las localidades de Tecámac y Coatlinchán, registraron valores de -0.71 y de 0.71, respectivamente.

Tomando en cuenta este valor y los coeficientes canónicos estandarizados, se puede decir que en la localidad de Coatlinchán se obtuvo el mejor valor nutricional en la etapa del maíz para ensilado, dado que la variable PC (1.05) fue la variable original de mayor ponderación; el valor negativo de la media de clase para la localidad de Tecámac, indica que habrá una relación inversa en esta localidad para el contenido de PC. La distancia de Mahalanobis entre localidades fue de 2.02 y resultó significativa ($P \leq 0.0001$).

Por otra parte, el MANOVA (Tabla 4) detectó diferencias significativas entre variedades ($P \leq 0.0001$) en cuanto a sus caracteres agronómicos, de rendimiento y valor nutricional. Con el CANDISC se observa cómo en el factor variedad, las tres primeras variables canónicas (CAN1, CAN2 y CAN3) resultaron significativas y ambas explicaron el 99% de la varianza total. Tomando en cuenta la variedad, los coeficientes canónicos estandarizados, muestran que con base en su valor absoluto las variables originales más relevantes fueron FF (0.97) en CAN1 y en CAN2 la DIVMS (0.98), en tanto que en CAN3 el RMS (0.70) y AP (-1.00) fueron las variables de mayor ponderación.

Tabla 4. Análisis de varianza multivariada, proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las tres primeras variables canónicas en parámetros agronómicos, de rendimiento y valor nutricional medidos en la etapa de corte del maíz para ensilado.

				Coeficientes canónicos estandarizados				
	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	FF	AP	RMS	PC	DIVMS
Localidad (L)	CAN1	100	<0.0001	0.25	-0.30	0.22	1.05	-0.29
Variedad (V)	CAN1	0.73	<0.0001	0.97	0.19	-0.04	-0.17	-0.25
	CAN2	0.24	<0.0001	0.32	-0.02	0.19	-0.05	0.98
	CAN3	0.02	<0.0001	-0.004	-1.00	0.70	0.26	0.003
Tamaño de semilla (TS)	CAN1	100	<0.0001	0.39	0.16	0.04	1.05	0.16

FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína en la planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de la planta completa.

Con base en la ponderación de las variables originales definida por los coeficientes canónicos estandarizados y la posición de los materiales en la Figura 2, determinada por sus respectivas medias de clase, esto permite hacer la siguiente caracterización cuantitativa:

Cuadrante I. Los materiales H-135 y H-358 que se observan en este Cuadrante, fueron liberados por el INIFAP y poseen germoplasma Tropical. Además, se caracterizaron por presentar mayor ciclo (103 a 108 días a FF), alturas de planta de 244 a 248 cm, rendimientos de materia seca que oscilaron entre 20.6 y 22.9 t $ha^{-1,}$ y con alto valor en la DIVMS (70.9 a 71.7%) características que les permitieron ubicarlos como los de mejor respuesta con base en CAN1 y CAN2.

Cuadrante II. Las variedades que se observaron en este Cuadrante fueron opuestas Campeón y HS-2 de ciclo intermedio (94 días a FF), con alturas de planta de 258 cm, combinado con rendimientos de materia seca (23.4 t ha^{-1}) que fueron ligeramente superiores al resto de los materiales evaluados, y con DIVMS similares a los presentados por las variedades que integraron el primer cuadrante (70.7 y 71.5%). Características, que permitieron ubicarlos como los de mejor respuesta en la variable CAN2. Es importante mencionar que los materiales provienen de Institutos de Investigación (Colegio de Postgraduados), excepto el criollo Campeón que es material del Estado de Tlaxcala y de origen Valles Altos.

Cuadrante III. Con base en CAN1 se puede observar que el Cuadrante III, está integrado por los híbridos A-791 y H-157 de ciclo tardío (105 días a FF). Las alturas de planta de estos materiales son de 233 a 256 cm, pero con los menores contenidos de

DIVMS, lo que viene a confirmar, los resultados obtenidos en los análisis estadísticos univariados. El H-157 es un material del INIFAP con origen Bajío-Valles Altos, y el A-791 pertenece a ASGROW con germoplasma tropical.

Cuadrante IV. Presenta materiales de ciclo intermedio (VS-22, Promesa) y tardío (VS-2000), con rendimientos de RMS alrededor de 20.0 t ha^{-1} en comparación a los materiales que integran el segundo cuadrante y con un porcentaje más bajo de DIVMS (65.8 a 70.2%), por lo que se ubican como las variedades de menor rendimiento y valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado, de acuerdo a las variables canónicas CAN1 y CAN2. Estos materiales también pertenecen a INIFAP (VS-22), Colegio de Postgraduados (Promesa) e ICAMEX (VS-2000) y todos tienen germoplasma de Valles Altos.

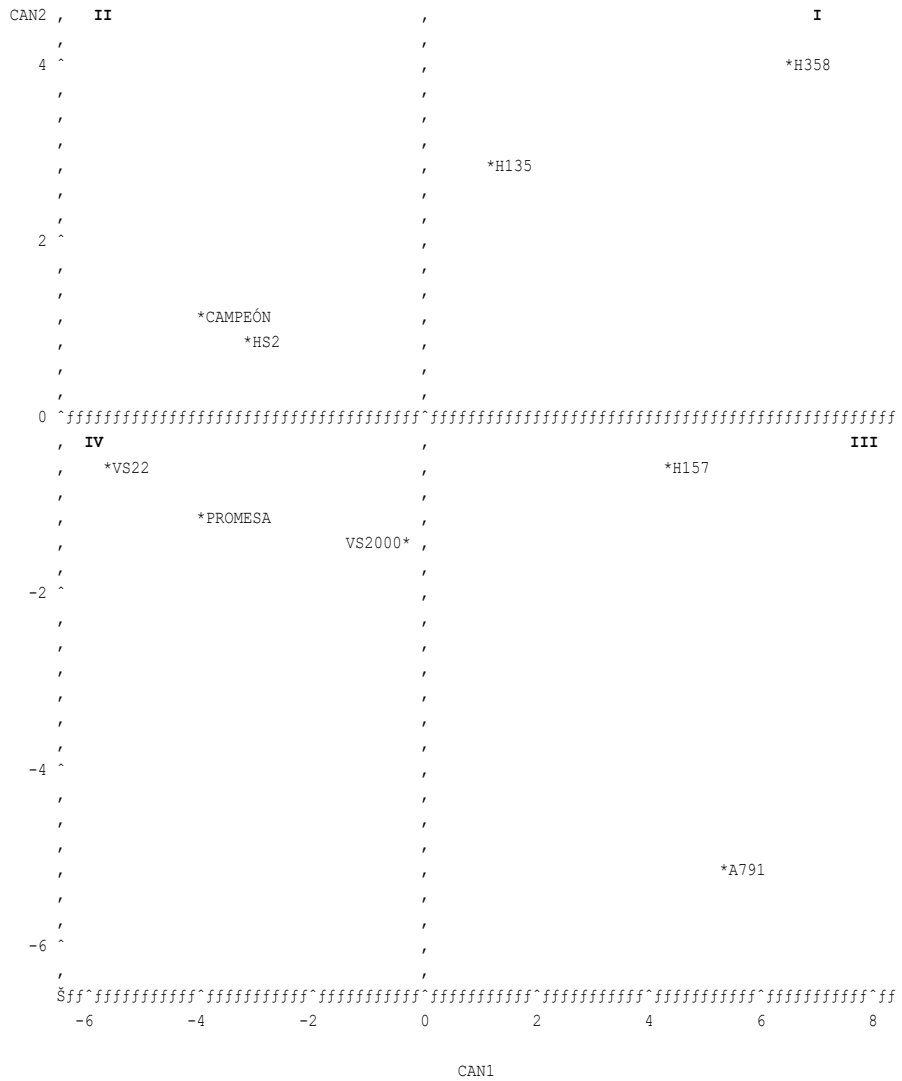


Fig. 2. Dispersión de las variedades de maíz para forraje en función del rendimiento y el valor nutricional evaluados en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico.

Por lo anterior, las variables FF y DIVMS son las más eficientes para seleccionar variedades de maíz con fines forrajeros.

El análisis de varianza multivariado (MANOVA) permitió, como se observó en el Cuadro 4, detectar diferencias significativas entre tamaños de semillas (TS). El CANDISC mostró que el factor tamaño de semilla, en una sola variable canónica (CAN1) se acumuló el 100% de la varianza total resultando significativa ($P \leq 0.0001$). Asimismo, y como los coeficientes canónicos estandarizados indican que, con base en su valor absoluto, la variable original con mayor ponderación fue el contenido de PC. Al considerar las medias de clase obtenidas para tamaño de semilla grande (0.62) y medio (-0.62), es posible asegurar que el tamaño medio presentó la menor concentración de proteína y con ello el menor valor nutricional en las variables de maíz para ensilado evaluadas. La distancia de Mahalanobis entre ambos tamaños de semilla fue de 1.53 y resultó significativa ($P \leq 0.0001$).

Por otra parte, en el MANOVA (Tabla 5) se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.001$) en la interacción V*x*TS acumulando el 98% de la proporción de la varianza total en cada una de estas interacciones (V*x*TS grande y medio). Tomando en cuenta ambas interacciones, se encontró que en CAN1 la variable FF, en CAN2 DIVMS y en CAN3 AP y RMS fueron las de mayor importancia en este estudio.

Tabla 5. Análisis de varianza multivariado, proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las tres primeras variables canónicas en parámetros agronómicos, de rendimiento y valor nutricional medidos en la etapa de corte del maíz para ensilado.

Factor	Variables canónicas	Proporción de la varianza explicativa	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados				
				FF	AP	RMS	PC	DIVMS
†V*x*TS	CAN1	0.66	<0.0001	0.88	0.15	-0.19	-0.29	0.45
Grande	CAN2	0.30	<0.0001	0.55	0.16	0.23	0.03	0.92
	CAN3	0.02	<0.0001	-0.023	-0.82	0.86	0.19	0.04
V*x*TS	CAN1	0.67	<0.0001	0.83	-0.25	-0.17	-0.57	-0.68
Medio	CAN2	0.29	<0.0001	0.58	-0.09	0.23	0.47	0.95
	CAN3	0.02	<0.0001	0.02	-1.01	0.92	0.50	0.002

V = variedad; TS = tamaño de semilla. FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína en la planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de la planta completa.

Con base en los coeficientes canónicos estandarizados, las medias de clases y las distancias de Mahalanobis para las combinaciones de V*x*TS grande, se puede observar en la Figura 3, que los híbridos H-358 y H-135 se ubicaron dentro del grupo de materiales tardíos con mayor digestibilidad (Cuadrante I). Los materiales A-791, VS-2000 y H-157 presentan mayores días a FF pero menor digestibilidad (Cuadrante II); mientras que las variedades Campeón y HS-2 son más precoces y más digestibles (Cuadrante III) que los materiales VS-22 y Promesa, que también tienen menos días a floración pero presentan una menor DIVMS que los anteriores (Cuadrante IV). Considerando V*x*TS medio (Figura 4), la dispersión de los materiales es similar a los resultados obtenidos para la interacción V*x*TS grande, con excepción de los materiales H-135 que se ubica en el Cuadrante II y el H-157 que pasa a formar parte del Cuadrante I.

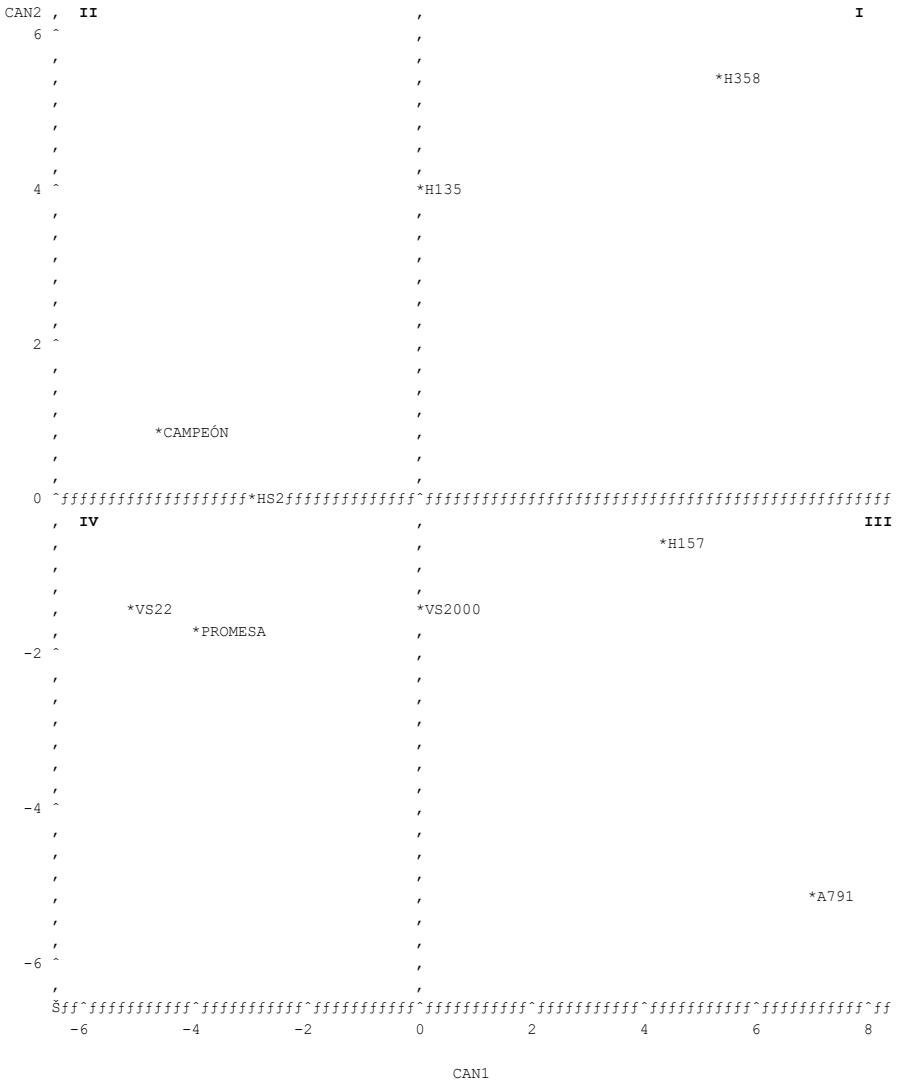


Fig. 3. Dispersión entre variedades y tamaño de semilla grande en función de las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico.

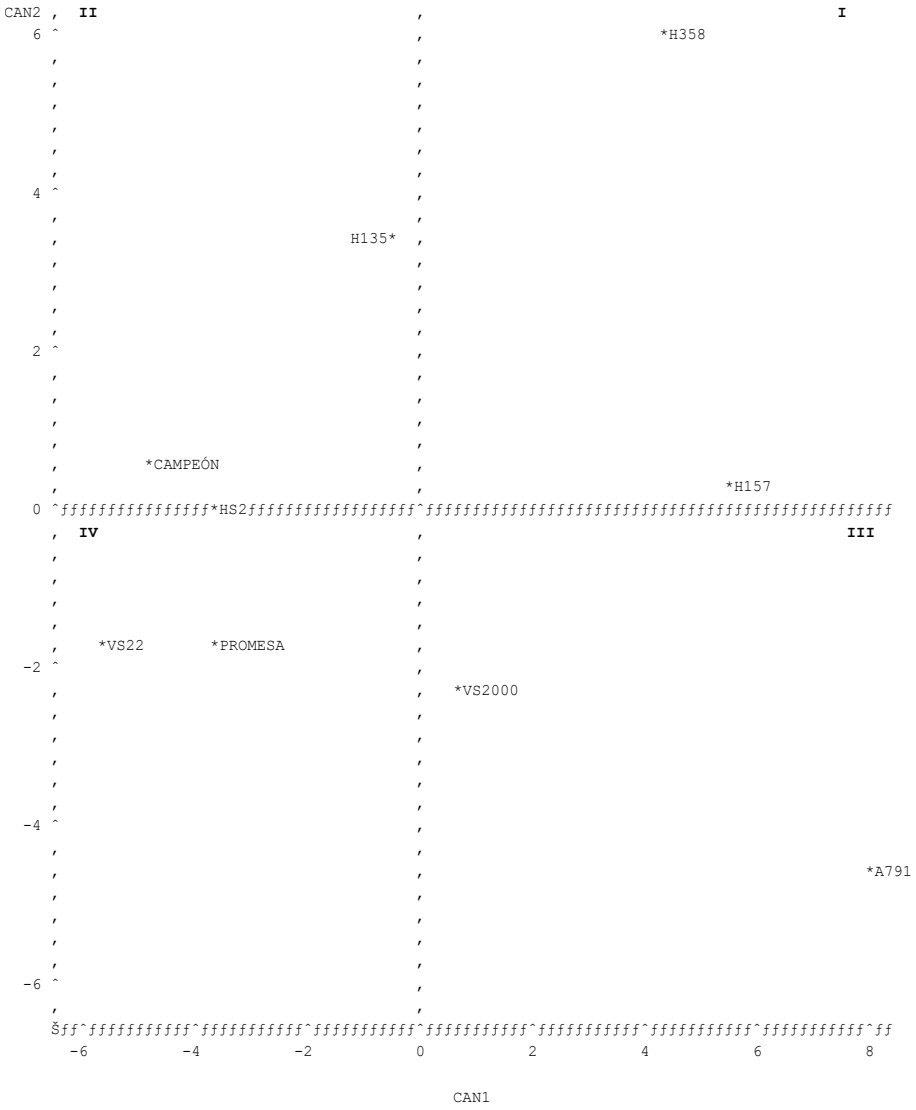


Fig. 4. Dispersión entre variedades y tamaño de semilla medio en función de las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico.

RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DE SEMILLAS, CON EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DEL MAÍZ PARA ENSILADO

El análisis de correlación (CANCORR) que se realizó en esta etapa cuyos resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6, es muy importante para identificar las principales variables de la calidad de la semilla que estén relacionadas con el rendimiento y el valor nutricional del maíz para ensilado. Como se estableció anteriormente, las variables de mayor relevancia en el análisis multivariado y discriminante canónico en calidad de semillas fueron: peso de mil semillas (P1000S), longitud (LS), ancho (AS) y espesor (ES) de la semilla, porcentaje de germinación (PG4D), viabilidad (VIA), peso seco de raíz (PSR), velocidad de emergencia (VE), peso seco de la parte aérea (PSPA) y porcentaje de establecimiento en campo de Tecámac (PECT) y Coatlinchán (PECSL) que para el análisis a realizar fueron utilizadas como variables independientes. Por otra parte, las variables relevantes medidas en la etapa de corte de maíz para ensilado fueron las siguientes: días a floración femenina (FF), altura de planta (AP), rendimiento de materia seca (RMS), proteína cruda (PC) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y estas variables fueron utilizadas como dependientes.

Tabla 6. Proporción de la varianza y probabilidad de la correlación canónica entre las variables independientes y dependientes medidas en la calidad de semilla, parámetros agronómicos, de rendimiento y valor nutricional por localidad en la etapa de corte del maíz para ensilado.

			Proporción de la varianza		
Localidad	Correlación canónica	Valor propio	Parcial	Acumulada	P
Tecámac	CANCORR1	4.43	0.71	0.71	<0.0001
	CANCORR2	0.70	0.11	0.82	<0.0001
	CANCORR3	0.56	0.09	0.91	0.0001
Coatlinchán	CANCORR1	1.05	0.46	0.46	<0.0001
	CANCORR2	0.53	0.23	0.23	0.002
	CANCORR3	0.37	0.16	0.85	0.03

Como lo indica el CANCORR (Tabla 6), se observa que en la localidad de Tecámac, las tres primeras correlaciones explicaron el 91% de la varianza total, mientras que para la localidad de Coatlinchán fue el 85% y con base en la significancia mostrada, se consideraron para establecer la definición específica de las variables involucradas. La CANCORR1 que en la localidad de Tecámac, explicó el 71% de la varianza total, en la Tabla 7 por ejemplo, considerando también esta localidad, estuvo definida por las variables LS (0.82) con FF (-0.62) de manera negativa y LS con PC (0.78) de manera positiva. Esto indica que las variedades que tuvieron menores días a floración femenina (menos tardías) tuvieron una mayor longitud de semilla con un incremento en el contenido de proteína en la planta completa; esto fue particularmente cierto para la variedad VS-22 y el criollo Campeón en donde se registró este tipo de respuesta.

Por otra parte, para la localidad de Coatlinchán, y considerando la CANCORR1 que explicó el 46% de la varianza total, se encontró una correlación positiva entre la LS (0.59) con DIVMS (0.67). Esto indica que las variedades de maíz con mayor tamaño de semilla, pueden tener mayor digestibilidad en la planta completa.

Respecto a la CANCORR2 en la localidad de Tecámac y la cual contribuyó a explicar el 11% de la varianza total, se puede observar que la variable más importante fue AS (0.67) con una relación positiva con FF (0.75) y PC (0.63); esto indica que las variedades con mayor AS fueron las más tardías y con mayor contenido de proteína. Para la localidad de Coatlinchán, la segunda CANCORR2 explicó el 23% de la varianza total, por lo que el PSR (0.55) se correlacionó en forma positiva con PC (0.84) y negativa con DIVMS (-0.76). Esto se traduce que los materiales con mayor peso seco de raíz, tendrán mayor contenido de proteína, pero menor digestibilidad.

La CANCORR3 explicó el 9% de la varianza total para la localidad de Tecámac y la variable más importante fue PECT (0.75) la cual estuvo relacionada con RMS (0.75) y con AP (-0.63), indicando que las variedades con un mejor establecimiento en campo tienen mayor rendimiento y son las de menor porte. En tanto la CANCORR3 en Coatlinchán explicó el 16% de la varianza total, las variables PSPA (0.58) y ES (-0.53) registraron una asociación con RMS (0.84) y con AP (-0.90).

Tabla 7. Correlación canónica entre las variables evaluadas en la calidad de semillas y con las variables evaluadas en la etapa corte del maíz para ensilado.

	Variables														
Variables canónicas	P1000S	LS	AS	ES	PG4D	VIA	PSR	VE	PSPA	PECT	PECSL	FF	AP	RMS	PC	DIVMS
CALIDAD DE SEMILLAS																
TECAMAC																
Calidad1	0.10	0.82	0.18	0.08	-0.04	-0.08	0.17	-0.18	0.16	0.04						
Calidad2	0.29	0.15	0.67	-0.07	0.07	0.05	-0.01	0.49	-0.32	-0.22						
Calidad3	-0.21	0.06	0.27	-0.34	0.44	-0.01	0.10	0.23	-0.27	0.75						
COATLINCHÁN																
Calidad1	-0.01	0.59	0.18	0.35	0.16	0.07	0.34	0.44	0.39	---	0.17					
Calidad2	0.09	0.39	0.27	-0.49	-0.48	-0.36	0.55	-0.27	-0.18	---	0.22					
Calidad3	0.18	-0.35	0.33	-0.53	0.24	0.20	0.002	-0.35	0.58	---	-0.06					
RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO																
TECAMAC																
Ensilado1												-0.62	0.43	-0.05	0.78	-0.03
Ensilado2												0.75	-0.23	-0.03	0.63	-0.06
Ensilado3												0.20	-0.63	0.75	0.34	-0.26
COATLINCHÁN																
Ensilado1												-0.02	-0.22	0.23	0.49	0.67
Ensilado2												0.45	0.31	0.34	0.84	-0.76
Ensilado3												-0.01	-0.90	0.84	-0.11	-0.01

P1000S = peso de mil semillas; LS = longitud de semilla; AS = ancho de semilla; ES = espesor de semilla; PG4D = porcentaje de germinación al cuarto día; VIA = porcentaje de viabilidad; PSR = peso seco de raíz; VE = velocidad de emergencia; PSPA = peso seco de la parte aérea; PECT = porcentaje de establecimiento en campo en Tecámac; PECSL = porcentaje de establecimiento en campo de Coatlinchán; FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína de planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca.

4 DISCUSIÓN

En maíz diversas investigaciones se han enfocado a estudiar el tamaño de semilla en aspectos relacionados con características agronómicas y de rendimiento de grano, pero sin considerar parámetros de rendimiento y valor nutricional del maíz para ensilado. En este contexto, se ha reportado que el tamaño de semilla tiene inferencia importante sobre la emergencia y el crecimiento inicial de las plántulas en varios cultivos de leguminosas forrajeras y al incrementar el tamaño de semilla puede incrementarse también la producción de materia seca [11] y la concentración de proteína [12]. Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar si el tamaño de semilla tiene influencia sobre la productividad y el valor nutricional en la etapa de corte para ensilado en diferentes variedades de maíz.

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que la localidad en estudio y la variedad utilizada afectan los caracteres agronómicos, el rendimiento y el valor nutritivo del maíz para ensilado. En tanto que el tamaño de semilla no tiene influencia en las variables agronómicas, pero si presenta un ligero efecto en el rendimiento de proteína por hectárea, así como en el contenido de proteína y la digestibilidad de la planta siendo ligeramente superiores en semilla de tamaño grande comparado con la de tamaño medio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo reportado por [13], [11], [14] y [15] quienes no encontraron efecto del tamaño de semilla en variables agronómicas evaluadas como la floración (FF, FM) o con lo observado por [16] quienes señalan que al evaluar la influencia del tamaño de semilla en el desarrollo de cinco híbridos de maíz, no encontraron efecto significativo en altura de planta. Sin embargo, [16] y [17] encontraron que la semilla de maíz plano grande resultó ser más precoz por un día con respecto a los otros tamaños de semilla evaluados, lo cual puede ser consecuencia de un desarrollo más rápido, aunque estos resultados no fueron significativos.

Es importante mencionar que, en nuestro estudio, las diferencias presentadas en algunos parámetros como en el contenido y rendimiento de proteína, así como en la digestibilidad de la planta fueron explicadas más por el efecto de la variedad, la localidad teniendo participación importante en esto el bloque anidado en la localidad más que el efecto del tamaño de la semilla. Existen algunos estudios que se han realizado con el fin de evaluar la cantidad de materia seca acumulada en la planta completa de maíz utilizando como un factor de estudio el tamaño de semilla, como es el caso de [11] en Kenya, [13] en USA, [18] en México y [19] en la India, quienes observaron que la materia seca acumulada en la planta (g/planta) no fue significativo en los tamaños de semilla evaluados.

Tomando en cuenta los resultados observados en los parámetros evaluados por el efecto de la variedad y localidad, estos coinciden con algunos estudios como lo reportado por [3] quienes mencionan que la variedad, el ambiente y la localidad, proporcionan variaciones en la expresión de la altura de planta y de mazorca; asimismo se ha mencionado que los factores climáticos, edáficos, bióticos y de manejo que se presentan en el año cuando la planta de maíz está en desarrollo pueden influir de manera positiva o negativa en el índice de cosecha [20] así como en el rendimiento de grano.

Tomando en cuenta la precocidad de los materiales utilizados en este estudio, [14] y [21] en trabajos realizados en el Estado de México con las mismas variedades evaluadas en esta investigación reportaron días a floración similares a las registradas en este estudio. En cuanto a los rendimientos de forraje (RFV, RMS, RPC y RMSD) se observó que los híbridos H-135, H-157, HS-2 y el criollo Campeón registraron los mayores rendimientos. Como era de esperarse a un mayor rendimiento de forraje verde corresponde un mayor RMS, así como RPC y RMSD.

Los presentes resultados obtenidos en RFV, RMS y RMSD fueron menores a los reportados por [14], [22] y [21] en estudios llevados a cabo en el Estado de México y ligeramente superiores a los reportados por [23] en un estudio llevado a cabo en Brasil con 15 híbridos de maíz y [24] en cinco poblaciones de maíz con potencial forrajero evaluados en Aguascalientes, Ags., y Torreón, Coahuila, México.

En este estudio, se observó que las variedades con las mayores alturas obtuvieron también los mayores rendimientos, siendo los materiales VS-2000, H-157, HS-2 y Campeón con germoplasma Valles Altos los de mayor rendimiento. Esto quizás se deba a que este carácter morfológico influye en la expresión y determinación del rendimiento de materia verde y seca; comportamiento que coincide con lo reportado por [14] aunado también al origen genético como lo señalan [25]. [26] señalan que los híbridos de ciclo tardío tienen mayores rendimientos de forraje y en algunos casos llegan a tener también bajos índices de cosecha.

Por otra parte, el índice de cosecha (IC) ha sido propuesto como un indicador de la eficiencia de la planta por estar correlacionada con el rendimiento [27] aunque su uso no ha sido del todo generalizado en las investigaciones de maíz e incluso para forraje.

Con base en los resultados obtenidos, se observó que las variedades de maíz para ensilado de ciclo intermedio y tardío (HS-2, Promesa, H-157 y VS-22) registraron el mayor IC, mientras que los de menor IC se registraron con los materiales VS-2000 y Campeón. Este resultado coincide parcialmente con lo reportado por [4], quienes señalan que los híbridos forrajeros precoces producen menores IC que los de ciclo tardío; lo cual podría estar relacionado con una mayor eficiencia de la planta en los materiales la acumulación de materia seca en tallos y hojas y en su capacidad de traslocar fotosintatos hacia el grano.

[28] en un estudio realizado sobre el valor agronómico de la planta completa para ensilado en híbridos de maíz europeos mejorados entre los años 1950 a 1980, revelaron que, en germoplasma de madurez precoz, se incrementó la materia seca a una taza de 0.07 Mg/ha/año, lo cual fue ligeramente menor que a 0.08 Mg/ha/año medido para rendimiento de grano. En germoplasma de madurez tardía la materia seca total decreció por -0.02 Mg/ha/año, mientras que para rendimiento de grano se incrementó por 0.04 Mg/ha/año. [29] indican que, en un programa de selección recurrente de maíz para incrementar el rendimiento de grano, también es posible encontrar efectos indirectos en el rendimiento de forraje, tendiendo históricamente hacia un alto índice de cosecha.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el valor nutritivo de los materiales evaluados en este estudio, las variedades con mayor concentración de proteína (PC) fueron el criollo Campeón, Promesa y H-135. Los valores del contenido de proteína en planta completa observados en esta investigación se ubican en los rangos reportados por [30] en Europa; en Brasil, [3 y 23] y [31]; en los Estados Unidos, [26]; y en México, [32], [33], [14], [22] y [21].

La digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de la planta completa mostró diferencias entre variedades donde el criollo Campeón, que registró alto porcentaje de acame, presentó la mayor digestibilidad, lo que podría estar relacionado con una menor concentración de lignina y hemicelulosa en la pared celular del tallo. Este resultado concuerda con lo reportado por [24] quienes encontraron altas DIVMS en poblaciones precoces con germoplasma de Valles Altos, pero también alta susceptibilidad al acame.

Los valores de digestibilidad *in vitro* (DIVMS) encontrados en el presente estudio son mayores con respecto a los reportados por [34] en Chapingo México, quien reportó valores de 52.7 a 60.4% de digestibilidad; pero son similares a los reportados por [35], [14] y [36]. [35] encontraron una variación en la digestibilidad *in vitro* de 67.1 a 71.8%. Por su parte [14] en el Estado de México, observaron una fluctuación de la digestibilidad in vitro de la materia seca de la planta de maíz entre 59.6 a 75.6 % con una media de 65.8% para las mismas variedades evaluadas en este estudio, en tanto que [36] reportaron una variación en la digestibilidad en planta completa de 65.2 a 77%. Entre los factores que afectan el valor nutritivo del maíz, se ha reportado que la temperatura máxima, horas luz y la radiación solar tienen efecto en la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (LDA) así como la digestibilidad *in vitro* [37].

Por otra parte, se tiene que, en México la selección de variedades de maíz para uso forrajero se ha basado principalmente en el rendimiento de materia seca, sin considerar la calidad nutricional como un parámetro importante de evaluación [2]. Ante esta situación es necesario que en un programa de mejoramiento dirigido a la obtención de variedades de maíz para uso forrajero se identifiquen las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional del maíz para ensilado que son importantes y que podrían tomarse en cuenta como criterios de selección. Para ello, en este estudio, se utilizó la técnica estadística multivariada mediante el análisis discriminante canónico (CANDISC).

El CANDISC discriminó con mayor claridad a los días a floración femenina (FF), al contenido de proteína (PC) a la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) y al rendimiento de materia seca de la planta completa, como las variables de mayor importancia en la etapa de ensilado. Asimismo, se identificó que los materiales con la mejor respuesta tanto en el rendimiento como en el valor nutricional fueron los híbridos de ciclo tardío H-358 y H-135.

En ese contexto, en un estudio realizado por [14] quienes a través de la técnica de componentes principales caracterizaron 30 materiales de maíz para ensilado, reportaron que las variables de índice de área foliar (IAF), floración femenina (FF), floración masculina (FM), altura de planta (AP), rendimiento de materia seca digestible (RMSD) y proteína cruda (PC) fueron los parámetros de mayor peso en los dos ejes de los componentes principales y que las variedades de mejor productividad y valor nutricional fueron las de ciclo tardío con germoplasma de Valles Altos entre las que estuvo el híbrido H-135. Esto deja la posibilidad de considerar estos parámetros en el mejoramiento genético del maíz para ensilado.

Respecto al análisis de correlación canónica que buscó determinar que variables de la calidad de semillas están más relacionadas el rendimiento y el valor nutricional del maíz para ensilado, se observó que la longitud y el ancho de la semilla; el peso seco de raíz, la velocidad de emergencia, así como el peso seco de la parte aérea se correlacionaron con los parámetros de floración femenina, la altura de la planta, el contenido de proteína y la digestibilidad *in vitro* de la planta completa.

5 CONCLUSIONES

La variedad afecta el rendimiento de forraje, así como la calidad nutricional del maíz para ensilado en cada localidad. El tamaño de semilla tiene un efecto en el rendimiento de proteína por hectárea, así como en el contenido de proteína y la digestibilidad de la materia seca de la planta, siendo ligeramente superiores en semilla de tamaño grande comparado con la de tamaño medio. Las variedades con el mayor rendimiento de forraje ensilado fueron el criollo Campeón y los híbridos H-135, H-157, HS-2 y A-791. Las variedades más sobresalientes en cuanto a su valor nutricional de la planta completa fueron: H-135, Campeón, HS-2, VS-22 y H-358. Con base en el análisis multivariado, las variables importantes que pueden tomarse en cuenta para la selección de variedades de maíz para ensilado son la floración femenina, la proteína y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la planta completa, así como el rendimiento de materia seca de la planta completa. Los parámetros de la calidad de semillas que están más relacionados con el rendimiento y el valor nutricional del maíz para ensilado son la longitud y el ancho de la semilla; el peso seco de raíz, la velocidad de emergencia, así como el peso seco de la parte aérea.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgar la beca para realizar estudios de postgrado a la primera autora. Al Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas para realizar esta investigación y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el apoyo económico para esta investigación a través del Proyecto titulado: *Mejoramiento Genético de Maíz Para Forraje de Alta Productividad y Calidad Nutricional* con número SIGI *135260688*.

REFERENCIAS

[1] Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), *Avance de siembras y cosechas año agrícola 2022 en México*. En línea. Disponible en http://sagarpa.gob.mx (03 de diciembre de 2023).

[2] M. R. Tovar G., C. Sánchez, J. L. Arellano, J. E. Guzmán and I. Morales, Maize varieties in the Highlands Valleys of Central México: Forage yield and nutritive value of whole maize plants fed as silage to sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* vol. 3, pp. 91-94, 2003b.

[3] A. Henrique F., R. Garcia V. P., M. Neves P., R. G. Silva B. e G. Silva C., Características agronômicas, químicas e nutricionais de híbridos de milho, visando à produçao de silagem de alto valor nutritivo. *Revista Ceres,* vol. 49, no. 281, pp. 41-54, 2002a.

[4] W. D. Widdicombe, and K. D. Thelen, Row width plant density effect on corn forage hybrids. *Agronomy Journal,* vol. 94, pp. 326-330, 2002.

[5] M. Quintana C., Tamaño de semilla de maíz (Zea mays L.) y su relación con la calidad Física y Fisiológica. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 70 p., 1992.

[6] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., y C. Pérez M., «*Tecnología para la producción de forraje con variedades criollas de maíz en el Estado de México*». INIFAP-Campo Experimental Valle de México, Desplegable para productores, no. 12, 2018.

[7] Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC), *Official method of analysis*. 19th Edition. Washington DC, USA. 672 p., 2012.

[8] P. J. Van Soest, R. Wine H. and A. Morre L., Estimation of the true digestibility of forages by the *in vitro* digestion of cell walls. Procedings of the X International Grassland Congress. pp. 438-441, 1966.

[9] E. P. Sosa, *Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 115 p., 1979.

[10] Statistical Analysis Software, SAS/STAT, *Guide for personal computers*. Statistical Analysis System Institute. Inc. Cary, NC. USA, 2016.

[11] R. S. Hawkins and P. J. M. Cooper, Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya Highlands. *Experimental Agriculture,* Vol. 15, no. 1, pp. 73-79, 1979.

[12] G. S. Dhillon, D. S. Kler and A. S. Walia, Effect of seed on the forage yield of cowpea. *Seed Research,* vol. 10, no. 1, pp. 27-31, 1982.

[13] D. R. Hicks, H. Peterson, W. E. Lueschen and J. H. Ford, Seed grade effect on corn performance*. Agronomy Journal,* vol. 68, pp. 819-820, 1976.

[14] M. Vera U. y J. I. Vázquez L, *Productividad y valor nutricional de 30 genotipos de maíz (Zea mays L.) para forraje en la Región de los Valles Altos*. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 105 p., 2001.

[15] A. Martinelli and N. Moreira de Carvalho, Seed size and genotype effects on maize (*Zea mays* L.) yield under different technology levels. *Seed Science and Techology,* vol. 27, pp. 999-1006, 1999.

[16] M. B. Kurdikeri, B. Aswathaiah and S. Rajendraprasad, Influence of seed size on field performance in maize hybrids (*Zea mays* L.). *Seed Research,* vol. 26, no. 1, pp. 23-27, 1998.

[17] F. Morales R., *Efecto del tamaño de semilla y vigor de plántula sobre caracteres agronómicos y rendimiento en maíz (Zea mays L.).* Tesis Profesional. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuatitlán Izcalli, Edo de México. 90 p., 1988.

[18] P. Sánchez G., *Efecto del tamaño de semilla y la profundidad de siembra en el rendimiento de maíz*. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 59 p., 1982.

[19] N. S. Veera, S. H. Hussaini, B. Muralimohan R., H. Savitri, S. Mahbood A., K. Anand R., K. Srinivasulu R. and V. Padma. Effect of seed size and various stresses on field performance of maize hybrid Ganga 5. *Seed Research,* vol. 26, no. 1, pp. 28-33, 1998.

[20] J. S. Graybill, W. J. Cox and D. J. Otis, Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. Agronomy Journal, vol. 83, pp. 559-564, 1991.

[21] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., S. Hernández J., P. Pérez, E. Vera y J. M. Hernández C., *Tecnología para producción de maíz forrajero en los Valles Altos de la Mesa Central de México*. *In*: Memoria Técnica INIFAP-Campo Experimental Valle de México. Vol. 6, pp. 55-60, 2003a.

[22] J. E. Guzmán y I. Morales P., *Composición química y digestibilidad in vivo del ensilado de diferentes variedades de maíz (Zea mays L.).* Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 91 p., 2002.

[23] F. A. Henrique, R. Garcia V. P., M. Neves P. e A. G. Steola, Desempenho de cultivares de milho em relaçao às características agronômicas, químicas e de degradabilidade da silagem. *Revista Ceres,* vol. 49, no. 282, pp. 109-122, 2002b.

[24] A. Peña R., G. Núñez H. y F. González C., Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Técnica Pecuaria de México,* vol. 40, no. 3, pp. 215-228, 2002.

[25] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., D. A. Terrón I. y J. M. Hernández C., *Características agronómicas y rendimiento de nuevas variedades de maíz para ensilado en la Región de Valles Altos*. [Resumen]. Memoria del XX Congreso de Fitogenética. pp. 85, 2004.

[26] J. G. Coors, K. A. Albrecht, and E. J. Bures, Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Science,* vol. 37, pp. 243-247, 1997.

[27] F. Ramírez P. y A. Carballo C., Evaluación de otros índices de eficiencia como substituto del índice de cosecha en maíz Zea mays L. *Revista Chapingo,* vol. 9, no. 44, pp. 56-63, 1986.

[28] Y. Barriére, A. Gallai, M. Derieux, et A. Panoullé, Etude de la valeur agronomique en plante entière au stade de récolte ensilage de différentes variétés de maïs grain sélectionnées entre 1950 et 1980. *Agronomie,* vol. 7, no. 2, pp. 73-79, 1987.

[29] J. G. Coors and J. G. Lauer, *Silage corn. In: Speciality corns,* Hallauer, A. R. Ed. CRC Press INC. Iowa State University, Ames, USA. pp: 347-392, 2001.

[30] P. Darnene, J. Andrieu, Y. Barriere, R. Biston, C. Demarquilly, N. Fermenias, M. Lila, P. Maupetit, F. Rivière and T. Ronsin, Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. II. Prediction of the in vivo organic matter digestibility. *Annales Zootechie,* vol. 42, pp. 251-270, 1993.

[31] P. R. García V., T. E. Areco V., M. Souza G. e P. Milanez R., Época de semeadura e de corte de plantas de milho para silagem. *Revista Ceres,* vol. 49, no. 282, pp. 137-150, 2002.

[32] D. G. Reta S., A. Gaytán M. y J. S. Carrillo A., Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana,* vol. 23, pp. 37-48, 2000.

[33] J. Jiménez O., Comparación de diferentes genotipos de maíz para forraje en la región templada de Michoacán (primer año). [Resumen]. Memorias XXXVII Reunión nacional de investigación pecuaria. pp: 130. 2001.

[34] R. Bernal P., Efecto de la época de corte sobre el rendimiento en grano y la calidad del forraje de maíz (Zea mays). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 108 p., 1983.

[35] C. Hunt, W. Kezar and R. Vinande, Yield, chemical composition, and ruminal fermentability of corn whole plant, ear, and stover as affected by hybrid. *Journal of Production Agriculture,* vol. 5, no. 2, pp. 286-290, 1992.

[36] A. Peña R., G. Núñez H. y F. González C., Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Técnica Pecuaria de México,* vol. 41, no. 1, pp.63-74, 2003.

[37] G. Núñez H., y E. J. Cantú B., Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudan de nervadura café en la Región Norte de México. *Técnica Pecuaria de México,* vol. 38, no. 3, pp. 177-187, 2000.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1032-1043
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Modalités de prescription ambulatoire des médicaments psychotropes au centre hospitalier psychiatrique national de Thiaroye à Dakar (Sénégal)

[Ambulatory prescription modalities of psychotropic drugs at Thiaroye National Psychiatric Hospital Center in Dakar (Senegal)]

DIAGNE Ibra[1], DIEYE Maimouna[2], WADE Racky[3], PETIT Véronique[4], NDIAYE-NDONGO Ndèye Dialé[5], and SYLLA Aida[5]

[1]Psychiatre au Centre des opérations d'urgence sanitaire du ministère de la santé et de l'action sociale du Senegal, Dakar, Senegal

[2]Psychiatre et addictologue au centre Hospitalier Psychiatrique National de Thiaroye, Dakar, Senegal

[3]Psychiatre et chercheur en anatomie, laboratoire d'anatomie et d'Organogénèse, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Senegal

[4]Chercheur à l'IRD, Professeure des Universités, démographe, UMR 196 CEPED Université de Paris, Paris, France

[5]Professeur en psychiatrie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Centre Hospitalier National Universitaire de Fann, Dakar, Senegal

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objectives of this study were to describe and analyze the modalities of prescription of psychotropic drugs in patients followed in ambulatory psychiatry. The study was cross-sectional, descriptive, and analytical on the prescription of psychotropic drugs in 205 patients followed at the outpatient clinic of the National Psychiatric Hospital of Thiaroye in Dakar, for a period of three months (from February 1 to April 30, 2019). The average age was 34.5 years, 64.9% of patients were without occupation and 15.6% had a history of hospitalization. The disorder had lasted between 1 - 10 years for 59.1% of patients. The most frequent diagnosis was schizophrenia (33.7%) followed by mood disorders (18.1%) and epilepsy (18.0%). The average number of medications per patient was 2.77 and monotherapy was exceptional (0.06% of patients). Antipsychotics were the most prescribed drugs (76.1%), followed by anxiolytics (31.7%), thymoregulators (27.3%), and antidepressants (23.4%). A synthetic antiparkinsonian was found in 51.2% of cases and delayed neuroleptics were prescribed in 13.7% of patients. Classic antipsychotics were prescribed in 50.4% of schizophrenic patients and second-generation antipsychotics in 33.3%. Second-generation antidepressants (serotonin reuptake inhibitors and serotonin-norepinephrine reuptake inhibitors) were prescribed exclusively for depressive disorders and anxiety disorders, unlike tricyclics. One-third of bipolar patients (37.5%) received a combination of a thymoregulator and an antipsychotic. Contrary to antipsychotics, which are still dominated by the classics, we note a trend toward the prescription of new antidepressants. However, some prescriptions did not comply with international recommendations. It is important to set up national protocols, based on current scientific evidence but also on the socio-economic context of the country to optimize the quality of psychotropic drug prescriptions.

KEYWORDS: Psychotropic drugs; prescription, psychiatry, Thiaroye, Senegal.

RESUME: Les objectifs de cette étude étaient de décrire et d'analyser les modalités de prescription des psychotropes chez les patients suivis en psychiatrie ambulatoire. L'étude était transversale, descriptive et analytique sur la prescription des psychotropes chez 205 patients suivis à la consultation externe de l'hôpital psychiatrique national de Thiaroye à Dakar, pendant une période de trois mois (du 1er février au 30 avril 2019). L'âge moyen était de 34,5 ans, 64,9% des patients étaient sans profession et 15,6% avaient des antécédents d'hospitalisation. Les troubles duraient depuis 1 à 10 ans pour 59,1 % des patients. Le diagnostic le plus fréquent était la schizophrénie (33,7 %), suivie des troubles de l'humeur (18,1 %) et de l'épilepsie (18,0 %). Le nombre moyen de médicaments par patient était de 2,77

Corresponding Author: DIAGNE Ibra

et la monothérapie était exceptionnelle (0,06% des patients). Les antipsychotiques étaient les médicaments les plus prescrits (76,1%), suivis des anxiolytiques (31,7%), des thymorégulateurs (27,3%) et des antidépresseurs (23,4%). Un antiparkinsonien de synthèse a été retrouvé dans 51,2% des cas et des neuroleptiques retard ont été prescrits chez 13,7% des patients. Les antipsychotiques classiques ont été prescrits à 50,4% des patients schizophrènes et les antipsychotiques de seconde génération à 33,3%. Les antidépresseurs de deuxième génération (inhibiteurs de la recapture de la sérotonine et inhibiteurs de la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline) ont été prescrits exclusivement pour les troubles dépressifs et les troubles anxieux, contrairement aux tricycliques. Un tiers des patients bipolaires (37,5%) ont reçu une combinaison d'un thymorégulateur et d'un antipsychotique. Contrairement aux antipsychotiques, toujours dominés par les classiques, on note une tendance à la prescription de nouveaux antidépresseurs. Cependant, certaines prescriptions ne sont pas conformes aux recommandations internationales. Il est important de mettre en place des protocoles nationaux, basés sur les preuves scientifiques actuelles mais aussi sur le contexte socio-économique du pays pour optimiser la qualité des prescriptions de psychotropes.

MOTS-CLEFS: Médicaments psychotropes; prescription, psychiatrie, Thiaroye, Sénégal.

1 INTRODUCTION

Depuis leur introduction dans le domaine de la psychiatrie dans la seconde moitié du 20ème siècle, les médicaments psychotropes ont radicalement changé l'approche thérapeutique des troubles psychiatriques [1]. Ils ont permis de soulager et de réduire les symptômes des maladies mentales et ont amélioré la qualité de vie des patients tout en leur permettant de poursuivre leurs activités socioprofessionnelles [2]. Ces médicaments sont devenus indispensables et incontournables dans la prise en charge globale de plusieurs pathologies mentales et leur prescription est devenue une pratique courante dans le monde entier [3]. La prescription des psychotropes et des protocoles thérapeutiques les incluant fait l'objet de travaux dont les résultats sont publiés pour fournir aux psychiatres des lignes directrices basées sur l'expérimentation afin de définir les conditions d'une utilisation objective et efficace de ces médicaments [4]. Cependant, une variation des modalités de prescription est observée dans le monde [5], [6] elle s'explique soit par les habitudes de prescription des médecins [7], soit en raison d'une différence entre les recommandations émanant des autorités/organismes régulant les pratiques médicales [8], soit en fonction des caractéristiques socio-économiques, culturelles et psychologiques des patients [7]. Si les modalités de prescription des psychotropes sont détaillées dans les contextes des pays occidentaux, elles sont beaucoup moins documentées dans le cas des pays en développement et de l'Afrique subsaharienne en particulier [9].

En outre, l'introduction de nouveaux psychotropes, dits de "deuxième génération" ou "atypiques", pose d'emblée la question de leur coût, du gain d'efficacité thérapeutique et de leur disponibilité dans les pays africains. Ces psychotropes "atypiques" ont été introduits sur le marché international dans les années 1970 et 1980. Grâce à leur double action sérotoninergique et dopaminergique, ces médicaments sont réputés pour avoir peu d'effets secondaires neurologiques [10]. Au Sénégal, la prescription de psychotropes a fait l'objet de peu de travaux et les quelques données qui existent sont tirées d'études et de travaux d'étudiants portant sur d'autres sujets. Comme dans la plupart des pays africains, l'introduction de nouveaux psychotropes de deuxième génération (ex. Rispéridone) dans le pays à partir de 1998-1999 [11] a conduit les psychiatres à modifier leurs habitudes de prescription en abandonnant les anciens médicaments. L'absence de procédures décidées/formalisées, au niveau du Ministère de la Santé et de l'Action Sociale ou au niveau des structures psychiatriques, en matière de prescription, laisse une grande liberté aux psychiatres dans le choix des psychotropes et des indications qui leur sont associées. Ils suivent également leur expérience personnelle de praticien plutôt que des algorithmes décisionnels précisément définis.

Les objectifs de cette étude étaient de décrire et d'analyser les modalités de prescription des psychotropes chez les patients suivis en psychiatrie ambulatoire au niveau du centre hospitalier psychiatrique national de Thiaroye à Dakar au Sénégal.

2 METHODOLOGIE

2.1 CADRE DE L'ETUDE

Cette étude a été réalisée dans le service de consultations externes de l'Hôpital psychiatrique national de Thiaroye (HPN). Situé dans la banlieue de Dakar, ancien village de pêcheurs, l'hôpital psychiatrique de Thiaroye a été créé en 1961. Il était destiné à prendre en charge les malades chroniques " irrécupérables " en provenance du Centre Hospitalier National Universitaire (CHNU) de Fann (service principal) et des anciens asiles (Lazaret de Saint-Louis, Koutal de Kaolack, Kenya de Ziguinchor, etc.) Il a longtemps dépendu du service psychiatrique du CHU de Fann [12]. Longtemps considéré comme une annexe du service psychiatrique du CHU de Fann, l'hôpital psychiatrique de Thiaroye est négativement associé dans l'imaginaire sénégalais aux rafles et surtout à la loi 75-80 introduisant la notion d'internement. Avec la réforme hospitalière de 1998, l'hôpital a été érigé par décret n°2000 - 269 du 5 avril 2000, en Etablissement Public

de Santé de niveau III sous le nom de centre hospitalier psychiatrique national de Thiaroye (CHPNT). Aujourd'hui, le CHPNT est une structure de référence sous-régionale et le seul hôpital public national spécialisé dans la prise en charge des patients souffrant de troubles mentaux et la seule structure nationale destinée à l'internement des patients sous mesures médico-légales. Ce centre a une capacité de 218 lits d'hospitalisation avec une fréquentation annuelle d'environ 2050 patients [13]. Il est composé de plusieurs services dont le service ambulatoire. Trois psychiatres y assurent des consultations quatre jours par semaine.

2.2 TYPE ET PERIODE DE L'ETUDE

Il s'agit d'une étude transversale, descriptive et analytique. Elle s'est déroulée pendant trois mois entre le 1er février et le 30 avril 2019 à l'aide d'un questionnaire préétabli et validé.

2.3 POPULATION DE L'ETUDE ET CRITERES D'ELIGIBILITE

L'étude a concerné tous les patients des deux sexes et de tous âges confondus qui ont été vus pendant la période d'étude à l'unité ambulatoire du centre national de psychiatrie de Thiaroye. Tous les patients ayant consulté pendant la période d'étude n'ont pas été inclus dans l'étude. Ainsi, les patients qui ont refusé de participer à l'étude et les questionnaires qui n'ont pas été entièrement remplis ont été exclus de l'échantillon.

2.4 COLLECTE DES DONNEES, VARIABLES DE L'ETUDE ET ANALYSE STATISTIQUE

Les données ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire préétabli et validé au préalable après un test sur 15 dossiers de patients. Lors de chaque consultation, avec l'accord du patient et de ses accompagnants, le médecin a rempli un questionnaire fermé en un seul passage pour recueillir des données sur les caractéristiques sociodémographiques (âge, sexe, état civil, profession, niveau socio-économique), les antécédents d'hospitalisation, la durée de la maladie, le diagnostic et les traitements prescrits. Deux des trois médecins ont accepté de participer à l'enquête. La disponibilité de ces médecins ainsi que leur charge de travail ont conditionné la sélection des patients. La saisie et l'analyse des données ont été effectuées à l'aide du logiciel Sphinx 2+ en français. Les données ont été décrites en termes d'effectifs, de pourcentages et de moyennes. Les différences observées ont été évaluées par le test du Chi-carré (correction de Pearson ou de Yates) et le seuil de signification statistique "p" a été fixé à 0,05 pour toutes les analyses. Les résultats ont été présentés à l'aide de diagrammes et de tableaux construits avec Microsoft Excel.

2.5 CONSIDERATIONS ÉTHIQUES

La participation des patients était basée sur un consentement libre et éclairé. Avant l'administration du questionnaire, ils ont été informés des objectifs de l'étude, de leur participation, du respect de l'anonymat et de la confidentialité des informations qui seront recueillies. Pour notre étude, une demande d'autorisation a été adressée aux autorités de l'hôpital psychiatrique national de Thiaroye. Le protocole de recherche a été validé par ces derniers.

3 RESULTATS

3.1 DONNEES SOCIODEMOGRAPHIQUES

Nous avions recruté et retenu 205 patients après avoir appliqué les critères d'inclusion et de non-inclusion. Le tableau 1 présente les caractéristiques de la population étudiée. L'âge moyen était de 34,5 ans avec des extrêmes de 16 à 80 ans. Le sex-ratio (F/H) était de 1,1 (femmes = 52,2 % et hommes = 47,8 %). Quatre-vingt-seize patients étaient célibataires (46,8 %) et 64,9 % étaient sans profession. Plus de la moitié des patients (62,4 %) avaient un faible niveau socio-économique.

3.2 DONNEES RELATIVES AUX ANTECEDENTS D'HOSPITALISATION DES PATIENTS ET À LA DUREE DE LA MALADIE

Parmi la population étudiée, 15,6 % avaient des antécédents d'hospitalisation. La figure 1 ci-dessous donne un aperçu de la durée de la maladie des patients de l'étude. Elle montrait que la plupart des patients (45,4 %) avait une durée de maladie comprise entre 1 et 5 ans. La relation entre la durée de la maladie et les antécédents d'hospitalisation des patients était hautement significative (Chi2= 18,30; ddl= 3; p= 0,001).

Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques des patients reçus et retenus au CHNP de Thiaroye durant la période de l'étude

	Fréquence absolue (n)	Fréquence relative (%)
Genre		
Femmes	107	52,2
Hommes	98	47,8
Tranches d'âge		
16-20 ans	27	13,2
21-30 ans	77	37,6
31-40 ans	45	22,0
41-50 ans	23	11,2
51-60 ans	23	11,2
Plus 60 ans	10	4,9
Statut matrimonial		
Célibataire	96	46,8
Marié (e)	84	41,0
Divorcé (e)	20	9,8
Veuf (ve)	5	2,4
Profession		
Sans profession	133	64,9
Elève/étudiants	18	8,8
Travail informel	41	20,0
Travail formel	13	6,3
Niveau socioéconomique		
Bas	128	62,4
Moyen	70	34,1
Elevé	7	3,4

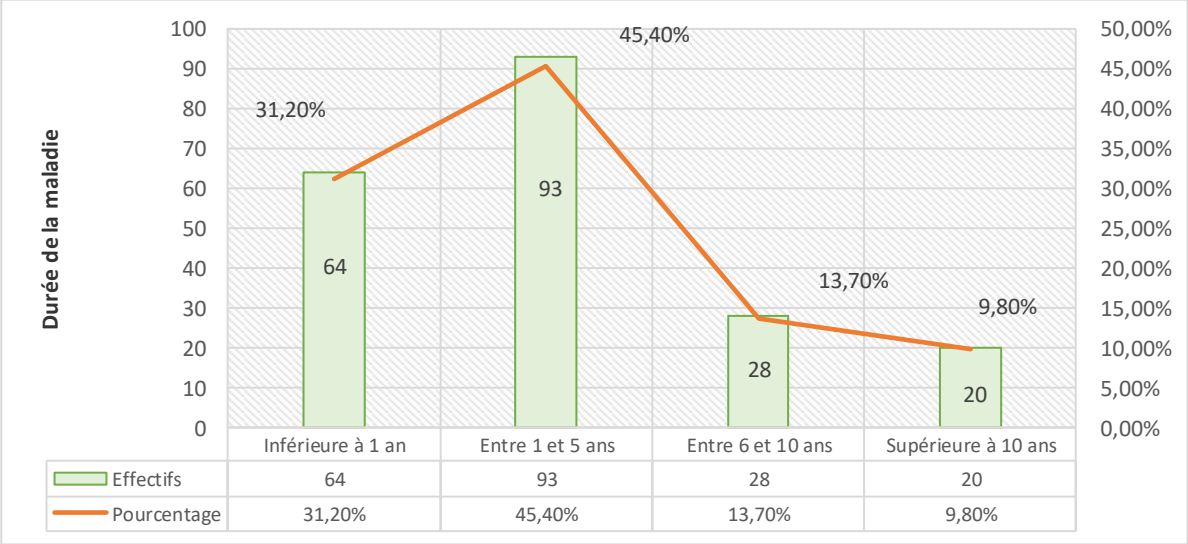


Fig. 1. Répartition des patients de l'étude en fonction de la durée de la maladie

3.3 Donnees Relatives Aux Diagnostics Psychiatriques Retenus Pour Les Patients

Le tableau 2 ci-dessous donne un aperçu général de la répartition des patients en fonction des diagnostics psychiatriques retenus. Les troubles schizophréniques étaient le diagnostic le plus fréquemment retenu avec un taux de 33,7% (69 patients) suivi par les troubles

de l'humeur et l'épilepsie avec des taux respectifs de 18,1% et 18,0%. Les troubles de l'humeur étaient toujours dominés par les troubles dépressifs (9,8%) et les troubles bipolaires (8,3%). Les autres troubles non psychotiques avaient une représentation inférieure à 5% pour chacun d'entre eux.

Tableau 2. Distribution des patients en fonction du diagnostic retenu

Diagnostics retenus	Fréquence absolue (n)	Fréquence relative (%)
Troubles schizophréniques	69	33.7
Troubles délirants persistants	17	8.3
Troubles psychotiques transitoires aigus	18	8.8
Troubles affectifs bipolaires	20	9.8
Troubles dépressifs	17	8.3
Troubles anxieux	9	4.4
Troubles névrotiques	4	1.9
Substances psychoactives	8	3.9
Démence	2	1.0
Epilepsie	37	18.0
Autres troubles	4	1.9

3.4 Donnees Sur La Prescription De Medicaments Psychotropes Chez Les Patients

3.4.1 Nombre De Medicaments Prescrits

Le nombre moyen de médicaments prescrits par patient était de 2,77 (mode = 3; médiane = 3; min = 1; max = 5) (Figure 2). La monothérapie était exceptionnelle (0,06% des patients) et la polymédication n'était pas significativement liée au sexe, à l'âge ou au diagnostic.

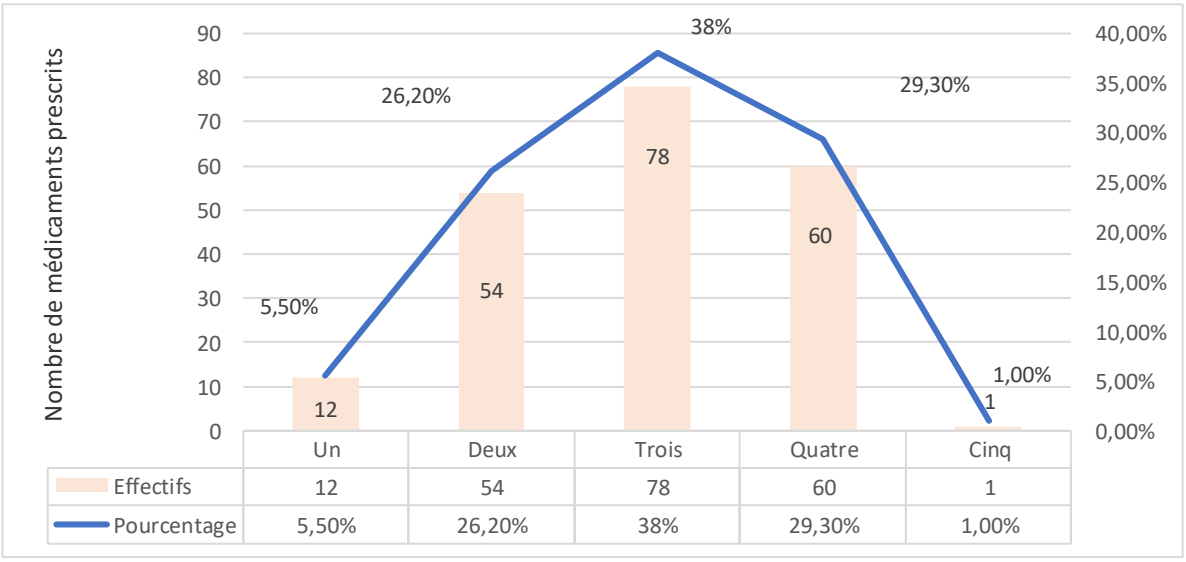


Fig. 2. International Journal of Innovation and Applied Studies

3.4.2 Repartition Du Nombre De Medicaments Prescrits Chez Les Patients

Les antipsychotiques étaient les médicaments psychotropes les plus prescrits (76,1%), avec les antipsychotiques classiques (AC) en première position (57,1%), suivis par les antipsychotiques de seconde génération (ASG) (19,0%). L'association de deux antipsychotiques de familles différentes (incisif et sédatif) était très fréquente, touchant 72% des patients. Les antidépresseurs représentaient 23,4 % des psychotropes prescrits, avec des taux respectifs de 2,0 % pour les tricycliques (T), 10,2 % pour les inhibiteurs sélectifs de la recapture de

la sérotonine (ISRS) et 11,2 % pour les inhibiteurs de la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline (IRSN). Les anxiolytiques ont été prescrits à 31,7 % des patients (benzodiazépine = 22,4 %), des hypnotiques à 19,0 % et des thymorégulateurs à 27,3 % des patients, la carbamazépine étant le médicament le plus prescrit (79,0 %). Les antiparkinsoniens de synthèse (APS) ont été prescrits à la moitié de la population étudiée (51,2%) (Tableau 3). L'association de deux antipsychotiques de familles différentes (incisif et sédatif) était très fréquente chez 72% des patients.

Tableau 3. Caractéristiques des psychotropes prescrits

Caractéristiques des psychotropes	Fréquence absolue (n)	Fréquence relative (%)
Antipsychotiques	156	76,1
Antipsychotiques classiques (Première génération) (AC)	117	57,1
Antipsychotiques de deuxième génération (ADG)	39	19,0
Antidépresseurs	48	23,4
Tricycliques (T)	4	2,0
Inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine (ISRS)	21	10,2
Inhibiteurs de la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline (IRSNa)	23	11,2
Thymorégulateurs	56	27,3
Anxiolytiques	65	31,7
Benzodiazépines (BZP)	46	22,4
Autres	19	9,3
Hypnotiques	39	19,0
Antiparkinsoniens de synthèse (APS)	105	51,2
Neuroleptiques Retards (NR)	28	13,7

Des neuroleptiques à action retardée (NR) ou à action prolongée (NP) ont été prescrits chez 28 patients (13,7 %). Cette prescription n'était pas liée au sexe ni aux antécédents d'hospitalisation. D'autre part, 92,9% des neuroleptiques à action retardée ont été prescrits à des schizophrènes et 7,1% à des patients souffrant de troubles psychotiques chroniques non schizophrènes. La pipotiazine (Piportil®) est le médicament le plus utilisé (n=20; 71,4%). Les patients en monothérapie (12 patients) prenaient soit un thymorégulateur (n=6), soit un antipsychotique conventionnel (n=4), soit un neuroleptique retard (n=2).

3.4.3 CARACTERISTIQUES DES MEDICAMENTS PSYCHOTROPES PRESCRITS EN FONCTION DU DIAGNOSTIC

Le tableau 4 ci-dessous montre la répartition des prescriptions de psychotropes en fonction des diagnostics les plus fréquemment utilisés dans notre population d'étude.

Psychotropes dans les troubles schizophréniques: les antipsychotiques étaient les médicaments les plus prescrits chez les schizophrènes (83,7%). Il s'agissait principalement d'antipsychotiques classiques (50,4%) suivis d'antipsychotiques de deuxième génération (33,3%). Dans notre série, 92,9% des schizophrènes étaient sous neuroleptiques retard et 51,4% sous antiparkinsoniens de synthèse. Les hypnotiques étaient plus fréquemment prescrits (35,9 %) que les anxiolytiques (32,2 %). Cependant, la prescription de ces deux psychotropes n'était pas liée à l'âge, au sexe ou à la durée de la maladie (tableau à l'appui). Le tableau suivant donne un aperçu général de la répartition des psychotropes prescrits en fonction des diagnostics psychiatriques les plus utilisés.

Psychotropes dans les troubles psychotiques non schizophréniques: Tous les patients psychotiques non schizophrènes (trouble délirant persistant, troubles psychotiques transitoires aigus) ont reçu au moins un médicament antipsychotique. Plus de 64 % des patients ont reçu des antipsychotiques conventionnels. Les antidépresseurs ont été prescrits davantage dans les troubles psychotiques transitoires aigus (54,3 %) que dans les troubles délirants persistants (9,5 %). Aucun des patients présentant un trouble psychotique transitoire aigu n'était pas sous neuroleptiques retard.

Psychotropes dans les troubles dépressifs: Les antidépresseurs sont les médicaments psychotropes les plus prescrits chez les patients dépressifs (87,2%). Les inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine restent les antidépresseurs les plus prescrits avec un taux de 52,4% (11 patients), suivis par les inhibiteurs de la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline (34,8%). Parmi ces patients dépressifs, les anxiolytiques sont le deuxième psychotrope le plus prescrit avec un taux de 53,3%.

Psychotropes dans les troubles bipolaires: Un tiers des patients bipolaires (37,5%) recevait une combinaison d'un thymorégulateur et d'un antipsychotique. Des antidépresseurs (26,9 %) et des anxiolytiques (21,4 %) étaient également prescrits aux patients présentant des troubles affectifs bipolaires.

Psychotropes dans les troubles anxieux et névrotiques: L'utilisation d'antidépresseurs et d'anxiolytiques était prépondérante dans les deux groupes de pathologies. Dans le groupe des anxieux, elle était de 21,7% pour les antidépresseurs et de 23,5% pour les anxiolytiques et dans le groupe des névrotiques, les antidépresseurs étaient prescrits dans 72,5% des cas et les anxiolytiques dans 15,2%. En dehors de ces deux psychotropes (antidépresseurs et anxiolytiques), les autres avaient été prescrits, tout en restant des événements rares.

Tableau 4. ***Répartition des prescriptions de psychotropes en fonction des diagnostics les plus fréquemment utilisés dans la population d'étude***

	Troubles Schizophréniques	Troubles délirants persistants	Troubles psychotiques transitoires aigus	Troubles dépressifs	Troubles affectifs bipolaires	Troubles anxieux	Troubles névrotiques
Antipsychotiques	72 (83,7%)	24 (32,4%)	20 (22,2%)	4 (8,6%)	17 (17,9%)	5 (7,7%)	5 (9,4%)
- AC	59 (50,4%)	17 (14,5%)	17 (14,5%)	1 (0,9%)	15 (12,8%)	3 (2,6%)	2 (1,7%)
- ADG	13 (33,3%)	7 (17,9%)	3 (7,7%)	3 (7,7%)	2 (5,1%)	2 (5,1%)	3 (7,7%)
Antidépresseurs	5 (23,0%)	2 (9,5%)	3 (54,3%)	19 (87,2%)	6 (26,9%)	5 (21,7%)	7 (72,5%)
- T	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (50,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (50,0%)
- ISRS	3 (14,3%)	2 (9,5%)	0 (0,0%)	11 (52,4%)	2 (9,5%)	0 (0,0%)	2 (9,5%)
- IRSNa	2 (8,7%)	0 (0,0%)	1 (4,3%)	8 (34,8%)	4 (17,4%)	5 (21,7%)	3 (13,0%)
Thymorégulateurs	4 (7,1%)	1 (1,8%)	1 (1,8%)	0 (0,0%)	11 (19,6%)	1 (1,8%)	3 (5,4%)
Anxiolytiques	12 (32,2%)	3 (12,7%)	7 (27,6%)	16 (53,3%)	7 (21,4%)	8 (23,5%)	7 (15,2%)
- BZP	10 (21,7%)	1 (2,2%)	3 (6,5%)	10 (21,7%)	5 (10,9%)	6 (13,0%)	7 (15,2%)
- Autres	2 (10,5%)	2 (10,5%)	4 (21,1%)	6 (31,6%)	2 (10,5%)	2 (10,5%)	0 (0,0%)
Hypnotiques	14 (35,9%)	4 (10,3%)	1 (2,6%)	13 (33,3%)	2 (5,1%)	2 (5,1%)	0 (0,0%)
APS	54 (51,4%)	17 (16,2%)	17 (16,2%)	1 (1,0%)	9 (8,6%)	2 (1,9%)	1 (1,0%)
NR	26 (92,9%)	2 (7,1%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)

Légende:
AC: Antipsychotiques Classiques; ADG: Antipsychotiques Deuxièmes Générations; T: Tricyclique, BZP: Benzodiazépine; ISRS: Inhibiteur Sélectif de la Recapture de la Sérotonine; IRSNa: Inhibiteur de la Recapture de la Sérotonine et de la Noradrénaline; APS: Antiparkinsoniens de synthèse, NR: Neuroleptiques Retards.

4 DISCUSSION

4.1 ASPECTS SOCIODEMOGRAPHIQUES

Les médicaments psychotropes ont révolutionné la pratique de la psychiatrie en étant utilisés dans le traitement des troubles mentaux. Ils ont permis à de nombreux patients de conserver leurs relations sociales et professionnelles ainsi que leur famille. Les médicaments psychotropes agissent sur le système nerveux central en se liant à des neurotransmetteurs spécifiques pour modifier certains processus cérébraux. Cependant, ces médicaments ont aussi des effets autres que psychologiques, ce qui explique certains effets indésirables qui peuvent être invalidants et insupportables pour les patients, contribuant ainsi à la non-observance du traitement. Pour pallier ces effets secondaires des psychotropes et contribuer à la qualité des soins, il est important d'évaluer leur prescription pour les confronter aux recommandations de bonne pratique. L'absence de protocoles nationaux sur la prescription de médicaments psychotropes n'est pas le seul facteur expliquant les variations observées dans l'utilisation des médicaments psychotropes au niveau international. Cependant, d'autres facteurs peuvent conduire à des différences de prescription, tels que la disponibilité et l'accessibilité de ces médicaments dans certains pays, en plus des inégalités territoriales internes d'approvisionnement. Au Sénégal, la prescription des psychotropes est très variée mais reste dominée par les neuroleptiques classiques malgré leurs effets secondaires invalidants. Cette situation s'explique par le coût des psychotropes "atypiques" qui est de l'ordre de 13,74707 à 20,62143 USD par produit alors que le revenu mensuel brut par habitant est de 119 USD [14].

4.2 PROFIL DES PATIENTS

Nous avons constaté une légère prédominance féminine (52,2 %) contre 47,8 % d'hommes avec un sex-ratio (F/H) de 1,1. Ce résultat semble refléter les données du recensement général de la population sénégalaise [15]. L'âge moyen de notre population d'étude était de 34,5 ans. Ce résultat est proche des taux retrouvés au Togo [16] et en Algérie [17] avec des chiffres respectifs de 36,12 ans et 36,41 ans. Il s'agit d'une population jeune dont la tranche d'âge la plus représentative est celle des 21-30 ans (37,6 %). La jeunesse de la population générale sénégalaise serait une explication [15]. Quatre-vingt-seize patients étaient célibataires, soit un taux de 46,8 %. Nos résultats sont supposables à ceux de Benmebarek et Benaldjia [18] sur le même sujet. Dans notre série, 64,9 % étaient sans profession

et plus de la moitié des patients (62,4 %) avaient un niveau socio-économique bas. Ce résultat s'expliquerait par le milieu socio-familial défavorisé des malades mentaux qui sont en proie à la stigmatisation, à la difficulté de poursuivre des études et d'obtenir un emploi stable [19]. Cependant, comme la maladie mentale n'est pas l'apanage des pauvres et des chômeurs, toutes les classes socio-économiques étaient représentées.

Seuls 15,6 % des patients avaient des antécédents d'hospitalisation. Des taux plus élevés ont été retrouvés dans la littérature [18], [20]. L'explication de ce faible taux réside dans la spécificité du contexte de l'étude, l'organisation de la psychiatrie au Sénégal. Dans les structures psychiatriques sénégalaises, les patients hospitalisés dans les unités d'hospitalisation poursuivent leur suivi dans ces unités avec le médecin responsable de l'unité. En revanche, les patients qui n'ont pas été hospitalisés sont suivis dans les unités ambulatoires qui se trouvent dans la même structure. Cette organisation des soins diffère de celle de la France, par exemple, où les soins psychiatriques ambulatoires sont assurés par les centres médico-psychologiques, que le patient soit hospitalisé ou non [21]. Ainsi, les 15,6 % que nous avons trouvés seraient des patients qui ont été soit hospitalisés dans le passé ou perdus de vue par la suite, soit des patients hospitalisés dans d'autres services psychiatriques du pays.

4.3 CARACTERISTIQUES DIAGNOSTIQUES DES PATIENTS

Les troubles schizophréniques, l'épilepsie et les troubles psychotiques non schizophrénique restent les pathologies les plus fréquemment diagnostiquées, devant les autres troubles non psychotiques, qui représentent moins de 10 %. Des résultats similaires ont été retrouvés dans la littérature. Ainsi, au Togo [20] comme en Algérie [18] des proportions élevées de troubles psychotiques en psychiatrie ont été retrouvées avec des taux respectifs de 39,64% et 64,2%. Cependant, certains travaux stipulent une fréquence plus élevée des troubles de l'humeur dans d'autres contextes [7], [22].

4.4 NOMBRE DE MEDICAMENTS PRESCRITS

Le nombre moyen de médicaments par patient dans notre étude est de 2,77. Ce taux est très proche d'autres travaux qui rapportent des moyennes allant de 1,6 à 3,3 [5], [18], [22]. La monothérapie est exceptionnelle contrairement à la polymédication (utilisation de plusieurs psychotropes de même classe ou de classes différentes) qui est ancrée dans les habitudes de prescription des psychiatres au Sénégal. D'autres études européennes attestent de la fréquence de la polymédication en milieu psychiatrique avec des taux allant de 41,9 % à 92 % [5], [7], [23].

4.5 CARACTERISTIQUES ET MODALITES DE PRESCRIPTION DES MEDICAMENTS PSYCHOTROPES

4.5.1 ANTIPSYCHOTIQUES

Les antipsychotiques sont les médicaments les plus prescrits avec 76,1% des cas. Ce résultat reflète la répartition des diagnostics qui donne une indication générale sur les prescriptions. En effet, les antipsychotiques sont des médicaments indiqués essentiellement à priori dans les troubles psychotiques [24], mais ils peuvent être prescrits dans d'autres troubles psychiatriques comme les troubles bipolaires pour prévenir les récidives et les rechutes aiguës [25], [26] et dans certains symptômes comme l'insomnie et les comportements agressifs [27]. Cependant, notre étude montre que les antipsychotiques classiques (ex. Halopéridol) restent plus prescrits que les antipsychotiques de seconde génération (ex. Rispéridone), malgré leur efficacité et leur tolérance. Nos résultats s'apparentent à une étude réalisée en 2007 par le service d'hygiène mentale de l'institut national de santé publique d'Abidjan (Côte d'Ivoire) où la prescription de neuroleptiques classiques représentait 72,9% contre 21,8% de neuroleptiques atypiques [28]. Une autre étude sur l'évolution des pratiques de prescription des psychotropes réalisée en 2003 à l'hôpital de Saint-Egreve [29] a retrouvé un taux de 35% pour la prescription des antipsychotiques de deuxième génération. Ce résultat peut s'expliquer par l'indisponibilité et la rupture d'approvisionnement de ces médicaments de deuxième génération dans certaines localités du pays, mais surtout par leur coût qui reste très élevé par rapport à la population concernée qui n'a pas de revenus réguliers du fait de son niveau socio-économique [14].

Au Sénégal, malgré les progrès réalisés dans la diffusion de la Couverture Maladie Universelle, la plupart des patients sont pris en charge par leur famille [19]. Les populations appartenant au secteur informel et au monde rural sont les moins bien couvertes par le remboursement des médicaments par la sécurité sociale ou leur assurance [30]. Les patients rares bénéficient d'une dispensation gratuite en raison des politiques sociales mises en place par l'Etat à l'égard des populations indigentes [30]. Cette situation constituerait sans doute l'une des raisons de la prescription d'antipsychotiques conventionnels malgré leurs effets secondaires invalidants. De plus, certains guides d'utilisation des anti psychotropes ne recommandent pas les antipsychotiques atypiques en première intention, car leur efficacité n'a pas été démontrée par rapport aux antipsychotiques conventionnels [31]. L'association d'au moins deux antipsychotiques de familles différentes reste élevée dans notre étude (72,0 %), ce qui corrobore son utilisation quasi systématique dans la pratique quotidienne des psychiatres sénégalais. Cette constatation, bien que non recommandée pendant plusieurs années lors de la conférence de consensus de 1994 sur les stratégies thérapeutiques à long terme dans les psychoses schizophréniques [32], reste une pratique

fréquente dans la plupart des pays avec des taux allant de 12 à 79 % [8], [18]. L'association d'au moins deux antipsychotiques de familles différentes est justifiée par certains auteurs pour obtenir un effet rapide ou pour optimiser les effets de ces antipsychotiques [33]. Néanmoins, la plupart des experts recommandent d'éviter systématiquement toute combinaison et préconisent la monothérapie [34].

4.5.2 ANTIDEPRESSEURS

Les antidépresseurs sont indiqués pour les troubles dépressifs et/ou anxieux. Dans notre série, les antidépresseurs sont dominés par les ISRS et IRNS (21,4%), alors que les tricycliques sont les moins prescrits (2,0%). Il s'agit d'une évolution positive de la pratique de prescription, facilitée par la disponibilité de ce type de médicaments et leurs prix accessibles pour les patients et leurs familles. La prescription d'antidépresseurs de deuxième génération est plus importante chez les personnes dépressives, ce qui est en accord avec la plupart des recommandations du « National institute for health and clinical excellence » [31], bien que certains protocoles internationaux ne les recommandent pas en première intention [25]. Le principal avantage de ces antidépresseurs, par rapport aux tricycliques, réside dans leurs faibles effets secondaires, leur bonne tolérance et leur simplicité d'administration. L'association d'antidépresseurs et d'anxiolytiques est fréquente dans notre série. Le but de cette association et l'effet ciblé est une anxiolyse rapide chez les patients qui présentent généralement une grande anxiété. L'analyse des prescriptions en fonction des diagnostics révèle d'autres associations d'antidépresseurs et d'antipsychotiques à visée sédative. Cette pratique, très bien ancrée dans les habitudes de prescription des psychiatres du centre et des psychiatres sénégalais en général, du fait de leur expérience de cliniciens, est indiquée dans les cas de troubles thymiques associés à des symptômes psychotiques [35].

4.5.3 THYMOREGULATEURS OU NORMOTHYMIQUES

L'analyse de la prescription des thymorégulateurs révèle une prévalence de 27,3% des patients pour lesquels la carbamazépine est le médicament le plus prescrit (79,0%). Sa prescription Trans nosographique s'étend des troubles bipolaires à la schizophrénie et aux troubles névrotiques. L'utilisation des thymorégulateurs dans les troubles bipolaires est justifiée, mais ces thymorégulateurs dans nos observations sont associés à au moins un antipsychotique. Cette association, qui reste une habitude de prescription au Sénégal, s'explique probablement par la sévérité des tableaux cliniques présentés par les patients ou par l'échec de la monothérapie initiale. Il faut rappeler qu'au Sénégal, comme dans la plupart des pays africains, les patients arrivent tardivement dans les structures psychiatriques, et qu'ils ont auparavant essayé d'autres recours thérapeutiques [19], l'arrivée dans un service psychiatrique est encore souvent le dernier recours après des mois ou des années d'errance thérapeutique, ce qui peut aussi expliquer la sévérité des tableaux cliniques. Chez nos patients schizophrènes, la proportion de thymorégulateurs semble loin d'être négligeable. Les thymorégulateurs sont utilisés dans ces cas comme traitement d'appoint dans les états d'excitation et d'agressivité, même si certains auteurs, attestent qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un thymorégulateur comme traitement ou comme stratégie pour augmenter le traitement antipsychotique dans la schizophrénie [36], [37]. L'analyse des thymorégulateurs utilisées dans notre étude, a montré la prédominance de la carbamazépine (Tégrétol®) (79,0%) sur l'acide valproïque (Dépakine®). Ceci pourrait s'expliquer par le grand nombre de patients reçus pour des troubles épileptiques, et les médecins ont souvent tendance à combiner la carbamazépine avec le phénobarbital (Gardénal®) dans les crises d'épilepsie complexes. Cependant, il est important de noter que l'acide valproïque a un meilleur profil de sécurité et de tolérance que la carbamazépine, sauf chez les femmes en âge de procréer [25].

4.5.4 ANXIOLYTIQUES ET HYPNOTIQUES

Les anxiolytiques ont été prescrits chez 31,7 % des patients dont les benzodiazépines représentent 22,4 %. Nos résultats sont proches de ceux retrouvés en Algérie sur le même sujet [18]. En revanche, le taux de prescription d'anxiolytiques mis en évidence dans notre étude est inférieur à celui noté en Europe [38]. Cette variation de la prescription de benzodiazépines (5 % à 75 %) est très fréquemment retrouvée dans la littérature [38], [39]. La prescription d'anxiolytiques comme traitement d'appoint a été retrouvée dans la plupart des pathologies sélectionnées. Par rapport aux hypnotiques, leur prescription représente 19,0 %. Dans la schizophrénie, les hypnotiques sont prescrits plus fréquemment (35,9%) que les anxiolytiques (32,2%). En raison du fort potentiel de dépendance des anxiolytiques, les médecins préfèrent les hypnotiques, ce qui est une bonne pratique.

4.5.5 NEUROLEPTIQUES À LONGUE DUREE D'ACTION OU "RETARD"

Les neuroleptiques à longue durée d'action, connus dans le jargon quotidien des professionnels sous le nom de neuroleptiques retard (NR), ont été prescrits dans notre série chez 28 patients (13,7%). La quasi-totalité schizophrènes (92,9%) ont bénéficié de ces NR. Ce taux est en accord avec les données de plusieurs pays africains et occidentaux où un tiers à un quart des patients schizophrènes sont traités par NR [40], [41]. La non-observance du traitement, définie comme une inadéquation entre le comportement du patient et les prescriptions médicales, est un phénomène courant dans les troubles psychotiques et en particulier dans la schizophrénie [42]. Elle

contribue à augmenter le risque d'hospitalisation, les problèmes de comportement et à réduire la réponse au traitement antipsychotique. Ainsi, l'une des stratégies visant à promouvoir l'adhésion au traitement chez les patients psychotiques est l'utilisation des neuroleptiques à action prolongée [43]. Ceci pourrait expliquer leur utilisation fréquente chez les patients suivis pour schizophrénie dans notre série.

4.5.6 ANTIPARKINSONIENS DE SYNTHESE

Les antiparkinsoniens de synthèse ou correcteurs ont été prescrits chez 51,2 % des patients. Cette prévalence se situe dans les limites de ce qui est publié sur le sujet avec des taux allant de 9,2 à 57,3 % [18], [22], [44].

5 CONCLUSION

L'analyse des modalités de prescription ambulatoire des psychotropes à l'Hôpital Psychiatrique National de Thiaroye a montré des résultats conformes à ceux de plusieurs études et aux recommandations internationales. Contrairement aux antipsychotiques qui sont encore dominés par les classiques, on observe un changement dans les habitudes de prescription avec une tendance à prescrire de nouvelles molécules avec une meilleure tolérance et moins d'effets secondaires. Ceci pourrait favoriser l'observance thérapeutique, notamment chez certains patients présentant une pathologie chronique. La polymédication reste une habitude bien ancrée chez les prescripteurs. La préférence de la carbamazépine par rapport à l'acide valproïque est très fréquente. Ainsi, l'élaboration de protocoles nationaux basés sur des preuves scientifiques actuelles, mais aussi sur les caractéristiques du contexte socio-économique du pays, permettrait de pallier ces insuffisances identifiées dans cette étude. Cela permettrait également une meilleure gestion et une optimisation de la qualité des prescriptions.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts.

REFERENCES

[1] Guelfi JD, Boyer P, Consoli S, Martin RO. Chimiothérapies en psychiatrie. *In: Psychiatrie, 1re édition. Paris: PUF, coll. Fondamental,* 685-702,1987.

[2] Le Moigne P. La prescription des médicaments psychotropes: une médecine de l'inaptitude ? *Déviance et Société,* 3, 27, 285-96, 2003.

[3] Bertolote JM, De Girolamo G. Essential Drugs in Psychiatry. *World Health Organization, Division of Mental Health*. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/62126/1/WHO_MNH_MND_93.27.pdf. 1993.

[4] Piparva KG, Parmar DM, Singh AP, Gajera MV, Trivedi HR. Drug utilization study of psychotropic drugs in outdoor patients in a teaching hospital. *Indian J Psychol Med*; 33 (1): 54-8, 2011, doi: 10.4103/0253-7176.85396. PMID: 22021954; PMCID: PMC3195156.

[5] Rittmannsberger H, Meise U, Schauflinger K, Horvath E, Donat H, Hinterhuber H. Polypharmacy in psychiatric treatment. Patterns of psychotropic drug use in Austrian psychiatric clinics. *Eur Psychiatry*; 14 (1): 33-40, 1999, doi: 10.1016/s0924-9338 (99) 80713-5. PMID: 10572323.

[6] Jordanova V, Maric NP, Alikaj V, Bajs M, Cavic T, Iosub D, Mihai A, Szalontay A, Sartorius N. Prescribing practices in psychiatric hospitals in Eastern Europe. *Eur Psychiatry,* 26 (7): 414-8, 2011. Doi: 10.1016/j.eurpsy.2010.05.005. Epub 2010 Sep 15. PMID: 20828993.

[7] Moore S, Jaime LK, Maharajh H, Ramtahal I, Reid S, Ramsewak FS, Maharaj M. The prescribing of psychotropic drugs in mental health services in Trinidad. *Rev Panam Salud Publica,* 12 (3): 207-14, 2002. Doi: 10.1590/s1020-49892002000900010. PMID: 12396640.

[8] Park S-C, Lee M-S, Kang S-G, Lee S-H. Patterns of Antipsychotic Prescription to Patients with Schizophrenia in Korea: Results from the Health Insurance Review & Assessment Service-National Patient Sample. *J Korean Med Sci*; 29: 719-728, 2014.

[9] Werner JF. Urbanisation et déviance. Etudes anthropologiques sur les drogues au Sénégal. *Cah. Sci. Hum,* 29 (1): 3-32, 1993.

[10] Bordet R. Neuroleptiques ou antipsychotiques ? Typiques ou atypique ? *La lettre du pharmacologue*; 18: 81-6, 2004.

[11] Meltzer HY. What's atypical about atypical antipsychotic drugs? *Curr Opin Pharmacol,* 4: 53-7, 2004.

[12] Collignon R. A propos de psychiatrie communautaire en Afrique noire. Les dispositifs villageois d'assistance. *Psychopathologie Africaine,* 19 (3): 287-328, 1983.

[13] Diagne PM. Soigner les malades mentaux errants dans l'agglomération dakaroise. *Anthropologie et Santé* [Online], connexion on 27 July 2020. http://journals.openedition.org/anthropologiesante/2171, 2016.

[14] World Bank Group. Annual Report 2019. *Organizational Information,* p: 42. [Online], 2016, connexion on 27 July 2020. https://thedocs.worldbank.org/en/doc/955421569960935227-0090022019/original/WBAR19OrganizationalInformation.pdf
[15] Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie. La population du Sénégal en 2017; *ANSD*-Mars 2018.
[16] Agbemele M, Komi SK, Anselme A, Gérard DG, Aboudourazad AG, Toyi AU, Simliwa T, Kolou D. Caractéristiques sociodémographiques et Cliniques des populations prise en charge aux urgences du CHU Campus (Lomé). *Mali médical;* tome XXX, N°4: 51-55, 2015.
[17] Robert PH, Merdji Y, Touari M, Bensmail B, Souetre E, Darcourt G. Evolution des psychoses en France et en Algérie. *Actualités psychiatriques*; 3: 6-10, 1990.
[18] Benmebarek Z, Benaldjia H. La prescription ambulatoire des psychotropes à l'hôpital psychiatrique El Madher Batna: étude transversale sur trois mois. *Batna J Med Sci,* 3: 2-8, 2016.
[19] Petit V. Circulations et quêtes thérapeutiques en santé mentale au Sénégal. *Revue francophone sur la santé et les territoires*. 2019. Disponible sur: https://rfst.hypotheses.org/les-circulations-en-sante-des-produits-des-savoirs-des-personnes-en-mouvement.
[20] Agbemele SKM, Gerard A-GG, Toyi T, Akamola SK, Abago B, Anselme D, Simliwa DK. Dispositif de soins et aspects de prise en charge des urgences psychiatriques au CHU Campus (Lomé). *Mali médical*; tome XXX; N°4: 46-50. 2015.
[21] Dupays S, Emmanuelli J. Les centres médicopsychologiques de psychiatrie générale et leur place dans le parcours du patient. Rapport IGAS N°2019-090R. *Inspection générale des affaires sociales,* France, 2020. [En ligne], http://www.igas.gouv.fr/pdf.
[22] Thakkar KB, Jain MJ, Billa G, Joshi J, Khobragade A. A Drug Utilization Study of Psychotropic Drugs Prescribed in the Psychiatry Outpatient Department of a Tertiary Care Hospital*. Journal of Clinical and Diagnostic Research,* 7 (12): 2759-2764. 2013.
[23] De Las Cuevas C, Sanz EJ. Polypharmacy in psychiatric practice in the Canary Islands. *BMC Psychiatry*; 2004, 4: 18.
[24] Hasan A, Falkai P, Wobrock T, Lieberman J, Glenthoj B, Gattaz WF, Thibaut F, Möller HJ; WFSBP Task force on Treatment Guidelines for Schizophrenia. World Federation of Societies of Biological Psychiatry (WFSBP) guidelines for biological treatment of schizophrenia, part 2: update 2012 on the long-term treatment of schizophrenia and management of antipsychotic-induced side effects. *World J Biol Psychiatry*; 14 (1): 2-44. 2013, doi: 10.3109/15622975.2012.739708. Epub 2012 Dec 6. PMID: 23216388.
[25] Grunze H, Vieta E, Goodwin GM, Bowden C, Licht RW, Möller HJ, Kasper S, WFSBP Task Force on Treatment Guidelines for Bipolar Disorders. The World Federation of Societies of Biological Psychiatry (WFSBP) guidelines for the biological treatment of bipolar disorders: update 2012 on the long-term treatment of bipolar disorder. *World J Biol Psychiatry*; 14 (3): 154-219,2013. doi: 10.3109/15622975.2013.770551. PMID: 23480132.
[26] American Psychiatric Association (APA). Practice guideline for the treatment of patients with bipolar disorder. Second Edition; 1-82, 2002. http://psychiatryonline.org/pb/assets/raw/sitewide/practice_guidelines/guidelines/bipolar.pdf
[27] Paton C, Lelliott P, Harrington M, Okocha C, Sensky T, Duffett R. Patterns of antipsychotic and anticholinergic prescribing for hospital inpatients. *J Psychopharmacol*. 17 (2): 223-9, 2003. doi: 10.1177/0269881103017002012. PMID: 12870571.
[28] Yeo-tenena YJM, Yao YP, Kamagate M, Doukoure M, Kadji PCG, Kouame LM. Place des neuroleptiques atypiques dans la prise en charge médicamenteuse des schizophrénies du service d'hygiène mentale d'Abidjan. *L'information psychiatrique,* Vol 84, N°5, p: 417-425, 2008.
[29] Orhon-Ménard S, Garcel A, De Beauchamp I, Spitz F. Pratices evolution on psychotic drugs prescriptions: atypical antipsychotic drugs position. L'*Information psychiatrique,* 24 (1): 5-10, 2005.
[30] Bossyns P, Ladrière F, Ridde V. Une assurance maladie à grande échelle pour le secteur informel en Afrique subsaharienne: six ans d'expérience au Sénégal rural 2012-2017. *Anvers: ITG Press,* 260 p, 2018. (Studies in Health Services Organisations & Policy; 34). ISBN 978-90-76070-46-9.
[31] Nice, National institute for health and clinical excellence. Psychosis and schizophrenia in adults: treatment and management. 2014. https://www.nice.org.uk/guidance/cg178.
[32] Conférence de consensus. Stratégies thérapeutiques à long terme dans les psychoses schizophréniques. Paris: *Ed. Frison-Roche*. 1994.
[33] Freudenreich O, Goff DC. Antipsychotic combination therapy in schizophrenia. A review of efficacy and risks of current combinations. *Acta Psychiatr Scand,* 106; 323–330, 2002.
[34] Guty C, Fabre C, Hameg A, Simo E, Surugue J, Garay R, Welcomme N. Prescription d'antipsychotiques en milieu hospitalier spécialisé. *L'Information Psychiatrique,* 82: 503-9, 2006.
[35] Thase ME, What. Role Do Atypical Antipsychotic Drugs Have in Treatment-Resistant Depression? *J Clin Psychiat,* 63 (2): 95-103, 2002.
[36] Leucht S, Helfer B, Dold M, Kissling W, Mcgrath J. Carbamazepine for schizophrenia. *Cochrane Database of Systematic Reviews,* Issue 5. Art. No.: CD001258. 2014.
[37] Magliano L, Fiorillo A, Guarneri M, Marasco C, De Rosa C, Malangone C, Maj M; National Mental Health Project Working Group. Prescription of psychotropic drugs to patients with schizophrenia: an Italian national survey. *Eur J Clin Pharmacol,* 60 (7): 513-22, 2004. doi: 10.1007/s00228-004-0803-7. PMID: 15316703.

[38] Jordanova V, Maric NP, Alikaj V, Bajs M, Cavic T, Iosub D, Mihai A, Szalontay A, Sartorius N. Prescribing practices in psychiatric hospitals in Eastern Europe. *Eur Psychiatry,* 26 (7): 414-8, 2011. doi: 10.1016/j.eurpsy.2010.05.005. Epub 2010 Sep 15. PMID: 20828993.

[39] Davids E, Bunk C, Specka M, Gastpar M. Psychotropic drug prescription in a psychiatric university hospital in Germany. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*; 30 (6): 1109-16, 2006.

[40] Barnes TR, Shingleton-Smith A, Paton C. Antipsychotic long-acting injections: prescribing practice in the UK. *Br J Psychiatry Suppl.* 52: S37-42, 2009.

[41] Samalina L, Abbarb M, Courtet P, Guillaume S., Lancrenon S., Llorca P.-M. Recommandations Formalisées d'Experts de l'AFPBN: prescription des neuroleptiques et antipsychotiques d'action prolongée. *L'Encéphale*; 39: 189-203, 2014.

[42] Aarab C, Elghazouani F, Aalouane R, Rammouz I. Facteurs de risques de l'inobservance thérapeutique chez les patients schizophrènes: étude cas-témoins. *Pan African Medical Journal*. 2015: 273 doi: 10.11604/pamj.2015. 20.273.3380.

[43] Stip E, Abdel-Baki A, Bloom D, Grignon S, Roy M-A. Les antipsychotiques injectables à action prolongée: avis d'experts de l'Association des médecins psychiatres du Québec. *La Revue canadienne de psychiatrie,* vol 56, no 6, 2011.

[44] Yao YP, Yeo-Tenena YJM, Kamagaté M, Allo BZH, Deafosse RCJ. Prescription des psychotropes: difficultés et perspectives en côte d'ivoire (Afrique de l'ouest). *L'information psychiatrique,* vol. 85, n° 8, pages 709 à 714. 2009.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1044-1050
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détermination des proportions en protéines totales de la spiruline produite au Burkina Faso

[Determination of the total protein proportions of spirulina produced in Burkina Faso]

Boubacar Savadogo[1], Windépagnagdé Charles Yameogo[1], Hermann Biènou Lanou[1], Charles Parkouda[2], and Augustin Nawidimbasba Zeba[1]

[1]Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso

[2]Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Spirulina is a food supplement rich in micronutrients and vitamins. It is called «the ideal food for humanity» and the World Health Organization has considered it a «super food» and the best food for the future due to its high nutritional value. The present study aimed to determine the proportions of total proteins in sun-dried spirulina. This was an analytical titration study using the KJELDAHL method. The average proportion of proteins in the spirulina samples was 47.52%. The lowest proportion was 43.14% and the highest was 56.10%. There is no significant difference between the variations in proportions of total proteins of the samples studied. However, the protein proportions of spirulina depend considerably on the climate and the growing area. Drying and packaging spirulina remains the only means of wide commercial distribution. Given the nutritional losses that can occur during storage, it is suggested that spirulina be consumed quickly after harvesting in order to maximize the nutrient benefit.

KEYWORDS: Burkina Faso, Spirulina, Total proteins.

RESUME: La spiruline est un complément alimentaire riche en micronutriments et en vitamines. Elle est appelée « l'aliment idéal pour l'humanité » et l'Organisation mondiale de la santé l'a considérée comme «super aliment» et la meilleure nourriture pour l'avenir en raison de sa haute valeur nutritive. La présente étude visait à déterminer les proportions en protéines totales dans la spiruline séchée au soleil. Il s'agissait d'une étude analytique de titrage utilisant la méthode de KJELDAHL. La proportion moyenne des protéines dans les échantillons de spiruline était de 47,52%. La plus basse proportion était de 43,14% et la plus forte était de 56,10%. Il n'y a pas de différence significative entre les variations en proportions de protéines totales des échantillons étudiés. Cependant, les proportions en protéines de la spiruline dépendent considérablement du climat et de la zone de culture. Le séchage et le conditionnement de la spiruline restent les seuls moyens d'une large distribution commerciale. Compte tenu des pertes nutritionnelles pouvant survenir lors de la conservation, il est suggéré une consommation rapide après la récolte de la spiruline afin de maximiser le profit en matière de nutriments.

MOTS-CLEFS: Burkina Faso, Spiruline, Protéines totales.

Corresponding Author: Boubacar Savadogo

1 INTRODUCTION

Dans le règne végétal, la spiruline représente plus de 18 % et compte environ 20000 espèces dans le monde [1]. En effet sous le terme « algue » sont regroupés des organismes végétaux extrêmement variés tant par la taille que par la structure cellulaire. La spiruline (*Spirulina platensis,* famille des Oscillatoriaceae) est l'une des algues bleu-vert riche en protéines (62,84%) et contient une forte proportion d'acides aminés essentiels (38,46% de la protéine) et est riche en vitamines comme les β-carotènes et le complexe de vitamine B sous forme de vitamine B12 (175 µg / 10 g) et d'acide folique (9,92 mg / 100 g). Il est également riche en calcium et en fer (922,28 et 273,2 mg / 100 g, respectivement) pour protéger contre l'ostéoporose et les maladies du sang, ainsi qu'un pourcentage élevé de fibres naturelles [2]. Ainsi, la spiruline est utile et nécessaire à la croissance des nourrissons et très adaptée aux enfants, notamment en phase de croissance, aux personnes âgées et aux malvoyants. Il aide également beaucoup en cas de faiblesse générale, d'anémie et de constipation chronique. La spiruline contient du sélénium (0,0393 mg / 100 g) et de nombreux phyto-pigments tels que la chlorophylle et la phycocyanine (1,56 et 14,647%), qui sont connus pour être de puissants antioxydants [2].

Il a été prouvé expérimentalement, in vivo et in vitro que la spiruline est efficace pour traiter certaines allergies, l'anémie, le cancer, l'hépatonéphrotoxicité, les maladies virales et cardiovasculaires, l'hyperglycémie, l'hyperlipidémie, l'immuno-déficience et les processus inflammatoires, entre autres [3, 4, 5,6]. Ainsi, la spiruline est considérée généralement comme un produit sans effets toxicologiques, et elle est approuvée par la FDA (Food and Drug Administration) et l'ANVISA [7]. Les formulateurs utilisent la spiruline dans les barres alimentaires de spécialité, les boissons nutritionnelles en poudre, le pop-corn, les boissons, les fruits et les jus de fruits, les desserts et condiments surgelés [2]. Au cours de la dernière décennie, l'agriculture et la consommation de cette algue sont en plein essor dans tous les pays en développement [8]. Sa consommation est indiquée comme l'une des solutions de lutte contre les carences en multi-nutriments dans ces pays [9,10]. Ce complément alimentaire offre des bienfaits remarquables pour la santé des enfants sous-alimentés. Il est riche en β-carotène qui peut surmonter les problèmes oculaires causés par une carence en vitamine A; il fournit les besoins alimentaires quotidiens en β-carotène qui peuvent aider à prévenir la cécité et les maladies oculaires [11]. Le complexe de protéines et de vitamines B apporte une amélioration nutritionnelle majeure dans l'alimentation d'un nourrisson. C'est la seule source alimentaire autre que le lait maternel contenant des quantités substantielles d'acide gras essentiel, d'acides aminés essentiels qui aide à réguler l'ensemble du système hormonal [12]. La spiruline contient également de l'α-tocophérol qui est connu dans la plupart des cas pour ses propriétés anti-oxydantes et son implication dans la régulation du stress oxydatif [13, 14, 15, 16]. Par conséquent, la spiruline constitue une source intéressante de β-carotène et d'α-tocophérol qui doivent tous deux être contrôlés pendant la production et la transformation. Au Burkina Faso, la carence en plusieurs nutriments est un problème de santé publique. L'une des solutions entreprises dans la lutte contre les carences nutritionnelles est l'introduction de la culture de la spiruline et la vulgarisation de sa consommation à petites doses comme complément alimentaire [17]. Le principal objectif des exploitations impliquées dans la production de spiruline doit contribuer à améliorer la santé de la communauté grâce à l'utilisation de la spiruline [17]. Le gouvernement du Burkina Faso a approuvé cet objectif en finançant entièrement le projet de production intégrée de spiruline de Koudougou «Nayalgué».

La spiruline fraîche reste moins accessible à la population en raison de sa courte durée de conservation. Le séchage de la biomasse fraîche et son stockage restent le seul moyen sûr de commercialisation ou de distribution humanitaire. Le séchage permet une stabilisation de la spiruline hydratée par la réduction à la fois de la teneur en eau. Cependant, des modifications chimiques sont susceptibles de se produire dans la biomasse sèche pendant le séchage et le stockage. Les composants oxydants tels que l'α-tocophérol et le β-carotène sont sensibles à l'oxygène atmosphérique, à la lumière et aux variations de température [18, 19, 20].

Le but de la présente étude était d'évaluer les proportions en protéines totales des échantillons de spiruline produite au Burkina Faso après séchage.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRE VÉGÉTALE

La matière végétale était constituée de spiruline (*Spirulina platensis*) prélevée de mai à juin 2020 dans la ferme de production Notre Dame d'Afrique de Koudougou. La spiruline a été obtenue en culture synthétique contrôlée pour une production à échelle semi-industrielle.

2.2 ECHANTILLONNAGE

Un échantillonnage de 30 sachets de poudre de spiruline produite dans la ferme a été choisi de façon aléatoire pour les analyses chimiques au laboratoire afin de déterminer les taux de protéines totales.

2.3 SÉCHAGE DE LA SPIRULINE

Le séchage a été réalisé au soleil pendant 5 h à l'aide d'un séchoir de type «coquillage» [21]. Après séchage des spaghettis de spiruline, ils sont devenus durs et cassants, faciles à broyer. Après séchage, tous les échantillons ont été retirés du séchoir et placés dans une plaque en aluminium. La biomasse séchée a été immédiatement pesée et broyée. Le conditionnement de la poudre a été effectué dans une pièce aux fenêtres fermées à température ambiante (30 ° C). La poudre a été conditionnée manuellement dans des sacs en plastique (10 g / sachet). Les échantillons de poudre ont été immédiatement transportés dans un sac isotherme au laboratoire de l'institut de recherche en sciences de la santé où des analyses chimiques des nutriments ont été effectuées. Les 30 échantillons de poudre ont été analysés dès leur arrivée afin de déterminer les taux de protéines totales. Les protéines totales ont été dosées par la méthode de titrimétrie de KJELDAHL

2.4 METHODES DE DOSAGE DES PROTEINES DANS LA SPIRULINE

PRINCIPE

L'action oxydante de l'acide sulfurique concentré bouillant transforme l'azote organique en azote minéral sous forme de sulfate d'ammonium (NH4) 2SO4. Apres déplacement par la soude, l'ammoniac est distillé et recueilli dans une solution d'acide borique qui la piège. Cette solution colorée est ensuite titrée par acidimétrie.

MODE OPÉRATOIRE

Une masse de 0,1 gramme de l'échantillon est introduite dans une fiole à laquelle on ajoute 4 mL d'acide sulfurique concentre (36 N). La température de l'appareil est ensuite réglée à 440 °C, puis la fiole contenant l'échantillon est placée sur la plaque chauffante. Au bout de quatre minutes, 5 mL d'eau oxygénée sont ajoutés à l'échantillon carbonisé par l'entonnoir de la colonne de fractionnement. La fiole est ensuite retirée de la plaque chauffante puis le minéralisât est dilué après refroidissement avec de l'eau jusqu'au trait de jauge. Le minéralisât dilué est transvasé dans un ballon de distillation en y ajoutant 100 autre mL d'eau, une solution de soude 10 N en présence de phénolphtaléine jusqu'à l'obtention d'une coloration rose. Cette solution est ensuite distillée et le distillat est piégé dans 20 mL d'acide borique contenu dans un ballon de 250 mL. La distillation est arrêtée lorsque le volume final atteint 150 mL. Le distillat est ensuite titré par l'acide sulfurique 0,1 N. La fin de la réaction est marquée par le virage de la couleur de l'indicateur coloré. Un blanc est réalisé selon la même procédure.

EXPRESSION DES RESULTATS

La formule suivante permet de déterminer le % d'azote total et par conversion le taux de protéines totales.

$$\text{Proportions des protéines totales (\%)} = \frac{VE - VB}{PE} \times N \times 14 \times 10^{-3} \times 6{,}25 \times 100$$

PE: prise d'essai (0,1 g)
VE: volume d'acide sulfurique nécessaire pour titrer l'échantillon
VB: volume d'acide sulfurique nécessaire pour titrer le blanc.
N: titre de l'acide sulfurique (0,1 N)
6,25 : facteur de conversion
10^{-3} : facteur de dilution
14 : Masse atomique de l'azote.

3 RÉSULTATS

PROPORTIONS DES PROTEINES TOTALES DANS LES ECHANTILLONS DE SPIRULINE

Le dosage des protéines totales a été effectué sur 30 échantillons après séchage. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Proportions des protéines totales dans les échantillons de spiruline après séchage

Numéro Echantillon	Moyenne en % des protéines totales ± écarts types	
1	47,64	0,55
2	45,46	1,49
3	52,39	0,56
4	48,78	1,30
5	49,46	2,31
6	51,67	1,41
7	48,47	1,43
8	53,20	0,51
9	48,03	1,81
10	56,01	0,31
11	49,38	1,73
12	52,49	1,34
13	49,95	1,02
14	49,47	0,71
15	56,69	0,22
16	44,82	0,91
17	45,72	0,46
18	47,60	0,83
19	46,57	0,93
20	45,78	0,37
21	50,73	1,81
22	44,50	2,19
23	43,14	1,89
24	56,10	1,11
25	47,55	0,64
26	47,85	1,16
27	48,91	1,14
28	46,58	1,43
29	46,74	1,02
30	49,97	1,10
Moyenne générale	47,52	0,67

Le tableau 1 présente les proportions de protéines totales dans 30 échantillons de spiruline après séchage. Dans l'ensemble, on note une moyenne de 47,52% en protéines totales. Les résultats présentés constituent la moyenne ± les écarts-types (chaque échantillon a été analysé en duplicata et la moyenne a été calculée). La plus faible moyenne est de 43,14% et la plus forte est de 56,10%. Le test exact de Fisher montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les teneurs en protéines des échantillons de spiruline analysés ($P > 0,3$).

La figure 1 présente l'histogramme des proportions en protéines des 30 échantillons de spiruline. On note globalement une légère variation entre les proportions mais cette différence est statistiquement non significative.

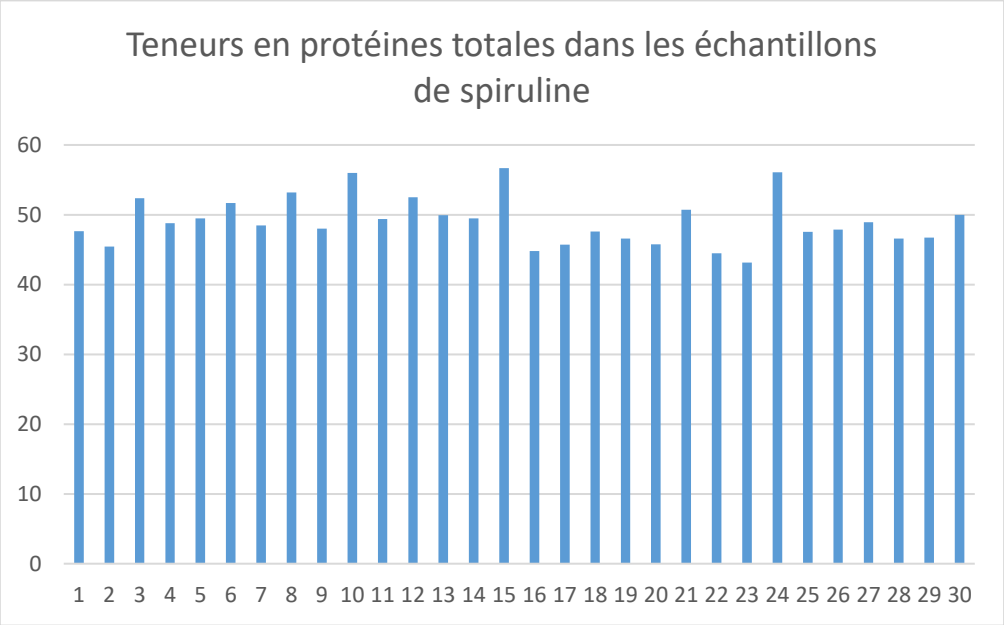


Fig. 1. Histogramme des proportions en protéines dans les échantillons de spiruline

X= numéro d'échantillon (de 1 à 30)
Y= Proportions en protéines des échantillons de spiruline (en %)

4 DISCUSSION

Nous avons obtenu une moyenne de 47, 52 % de protéines. Il ressort de ces résultats que la spiruline est bien un aliment très riche en protéines, quand bien même ces valeurs sont en dessous de celles obtenues par Dansou en 2003 (57,10%), Kabore en 2001 (65 %), Falquet en 1996 (50-70%) et Clement en 1975 (72%) [13]. Ces chiffres acquièrent une plus grande signification lorsqu'on les compare avec les teneurs moyennes en protéines de certaines graines de légumineuses qui, comme les cyanophycées sont des fixateurs d'azote: haricot (22%) et même le soja (38%) pourtant réputé pour sa richesse en protéines. Dans nos pays en développement, l'apport protéique d'origine animale est onéreux et de manipulation délicate. En effet, les principales sources protéiques d'origine animale sont des denrées périssables qui nécessitent des conditions particulières de conservation. Dans ce contexte, la spiruline pourrait équilibrer les régimes déficitaires en protéines, surtout chez les enfants car sa manipulation est moins contraignante. Fort de ce constat, la spiruline pourrait faire son entrée dans les programmes de récupération nutritionnelle si et seulement si son cout offre un réel avantage. Contrairement aux autres sources de protéines, la spiruline ne contient pas de parois cellulosiques mais une enveloppe de murine relativement fragile. Ce fait explique la très bonne digestibilité des protéines de la spiruline simplement séchée. Ainsi la spiruline ne nécessite ni cuisson, ni traitements spéciaux destines a rendre ses protéines accessibles. C'est un avantage considérable pour la préservation des constituants de hautes valeurs tels que les vitamines et les acides gras poly insaturés.

Des études menées par Kambou et al. en 2005 sur la spiruline au Burkina Faso ont montré une valeur moyenne en protéine de 47,87 [22]. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans la présente étude (47,52%). Falquet et al. en 2006 ont trouvé que les protéines représentaient 50 à 70% du poids total de la spiruline. Un rapport de l'UNESCO indique que la spiruline cultivée dans le lac Tchad en 2023 indiquait des proportions en protéines comprises entre 60 et 70%.

La teneur en protéines varie donc en fonction de la zone de culture. Ces disparités de résultats pourraient provenir de nombreux facteurs dépendant en premier lieu des conditions de culture, du climat mais surtout de séchage de la spiruline. Il est, par exemple, très probable que le séchage par « spray-drying » qui brise très fortement les filaments de spiruline réduise considérablement la durée de conservation des protéines.

La technique utilisée dans la présente étude était le séchage direct au soleil. Dans cette optique, la biomasse fraîche a été transformée en des cylindres de deux millimètres de diamètre («spaghetti» de spiruline), puis étalée sur un écran contenu

dans une boîte de séchage exposée à la lumière du soleil. La température de l'air entrant dans la boîte de séchage, qui s'avère être un paramètre prépondérant pour garantir la valeur nutritive de la spiruline, n'a pas été contrôlée. Les échantillons séchés à l'aide de cette technique contiennent des teneurs en eau résiduelle non homogène qui sont susceptibles d'avoir une influence sur le contenu nutritif [23].

Des auteurs ont utilisé le séchage par pulvérisation où le jus de spiruline broyée était séché. A cet égard, les filaments ont été préalablement réduits en bouillie pour briser leur membrane avant d'être soumis à un courant de gaz de combustion à très haute température pendant très peu de temps. Nos échantillons contiendraient probablement plus d'eau résiduelle que ceux de ces auteurs; ce qui pourrait expliquer les teneurs en protéines inférieurs à 50 % dans la spiruline analysée pour la présente étude.

5 CONCLUSION

Les résultats de la présente étude suggèrent l'utilisation de cette micro-algue comme source de protéines à l'état frais ou juste après séchage si l'on veut bénéficier de façon appropriée des effets des nutriments. La spiruline regorge une proportion intéressante en protéines totales juste après séchage. Cependant, des études antérieures ont montrées qu'une conservation prolongée de la spiruline pourrait engendrer des pertes en nutriments dont les protéines. Il est donc conseiller d'en consommer immédiatement ou peu de temps après sa production si l'on veut maximiser le profit nutritionnel que cette micro-algue en procure.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt pour cette publication.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la ferme de production Notre Dame d'Afrique de Koudougou pour son appui dans la collecte des échantillons dans la zone de l'étude.

REFERENCES

[1] Le Cointre G et le Guyader H, (2001). Classification phylogénétique du vivant. 2 ème édition, Berlin, ISBN 2-70011-213-6, 543 p.
[2] Sharoba AM., (2014). Nutritional value of spirulina and its use in the preparation of some complementary baby food formulas. *J. Agroalim. Proc. Technol*.20: 330-350.
[3] Chamorro G, Salazar M, Araújo KG, dos Santos CP, Ceballos G, Castillo LF., (2002). Update on the pharmacology of Spirulina (Arthrospira), an unconventional food. *Arch Latinoam Nutr*. 52 (3): 232-40.
[4] Romay Ch, González R, Ledón N, Remirez D, Rimbau V., (2003). C-phycocyanin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects. *Curr. Protein Pept. Sci*.4 (3): 207-216.
[5] Selmi C, Leung PS, Fischer L, German B, Yang CY, Kenny TP, Cysewski GR, Gershwin ME., (2011). The effects of spirulina on anemia and immune function in senior citizens. *Cell Mol. Immunol.* 8 (3): 248-254.
[6] Abdel-Daim MM, Farouk SM, Madkour FF, Azab SS., (2015). Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of Spirulina platensis in comparison to Dunaliella salina in acetic acid-induced rat experimental colitis. *Immunopharmacol.,* 37 (2): 126-139.
[7] Navacchi MFP, Monteiro de Carvalho JC, Takeuchi KP, Danesi EDG., (2012). Development of cassava cake enriched with its own bran and Spirulina platensis. *Acta Sci. Technol. (Maringa).* 34: 465-472.
[8] Charpy L, Langlade MJ, Alliod R., (2008). La spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique? IRD: Marseille, 2008.
[9] Simporé J, Pignatelli S, Musumeci S., (2007). The effects of spirulina on the immune functions of HIV-infected undernourished children. *J. Infect. Dev. Ctries*. 1: 112-117.
[10] Teas J, Irhimeh M.R., (2012). Dietary algae and HIV/AIDS: proof of concept clinical data. *J. Appl. Phycol.* 24: 575–582.
[11] Seshadri CV, (1993. Large scale nutritional supplementation with spirulina alga. All india coordinated project on spirulina. Shrimm. Murugappa Chettiar. Research Center (MCRC), Madras, India.
[12] Ramesh S, Manivasgam M, Sethupathy S, Shantha K., (2013). Effect of spirulina on Anthropometry and Bio-Chemical Parameters in School Children. *IOSR J. Dent. Med. Sci*. 7 (5) 11-15.

[13] Falquet J, Hurni J.P., (2006). Spiruline, Aspects Nutritionnels. Antenna Technology, 41p.
[14] McLaren SD, Frigg M., (2001). Manual sight and life sur les troubles dus à la carence en vitamine A (TCVA). 2ème éd. Bâle: Suisse, Task Force Sight and Life., 176p.
[15] Traber MG, Atkinson J., (2007). Vitamin E, Antioxidant and Nothing More. Free Radic. *Biol. Med.*43 (1): 4-15.
[16] Rajendran B, ChitturiSree SK, Matukumalli UR, Mylaram KS, Gopu B, Alla G.R., (2013). An evaluation of the protective role of α-tocopherol on free radical induced hepatotoxicity and nephrotoxicity due to chromium in rats. *Indian J. Pharmacol.,* 45 (5): 490-495.
[17] Sawadogo M, Nikièma JB, Compaoré M., (2004). La spiruline de «Nayalgué», projet de production intégrée au Burkina Faso. *Pharm. Méd. Trad. Afr.*13: 117-132.
[18] Rastrelli L, Passi S, Ippolito F, Vacca G, De Simone F., (2002). Rate of degradation of alpha-tocopherol, squalene, phenolics, and polyunsaturated fatty acids in olive oil during different storage conditions. *J. Agric. Food Chem*.50 (20): 5566-5570.
[19] Cuvelier C, Dotreppe O, Istasse L., (2003). Chimie, sources alimentaires et dosage de la vitamine E. *Ann. Méd. Vét.,* 147: 315-324.
[20] Ferreira JE, Rodriguez-Amaya D.B., (2008). Degradation of lycopene and beta-carotene in model systems and in lyophilized guava during ambient storage: kinetics, structure, and matrix effects. *J. Food Sci.,* 73 (8): 589-94.
[21] Ibrahim EA, Abdel-Daim M.M., (2015). Modulating effects of Spirulina platensis against tilmicosin-induced cardiotoxicity in Mice. *Cell J.* 17 (1): 137-144.
[22] Kambou Carine, (2005). Contribution à la détermination de la teneur en protéines, tocophérol, caroténoïdes et essais de formulation galénique de la poudre de spiruline produite au Burkina Faso: cas de la ferme de Koudougou. Thèse de pharmacie, Université de Ouagadougou.
[23] Bationo Fabrice, Savadogo Aly, Kabore Donatien, Ouattara/Songré Laurencia, (2015). Storage influence on beta-carotene and alpha-tocopherol contents of solar-dried Spirulina platensis (Spirulina). *African Journal of Food Science*. Vol. 9 (12) pp. 546-554, DOI: 10.5897/AJFS2015.1283.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1051-1057
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Le vécu anxieux de l'adolescent camerounais exposé à la violence conjugale au Cameroun

[The anxious experience of the Cameroonian adolescent exposed to domestic violence in Cameroon]

Tabue Defo Fabrice Rocard

Doctorant en psychopathologie et clinique, Département de Psychologie, Université de Yaoundé 1, Cameroon

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Adolescent exposure to marital violence is also an anxiety-inducing situation like any other negative life event. This exposure constitutes, among other things, the most significant anxiety-provoking situations among the various victims. The literature shows us that anxiety among adolescents increases as marital violence persists. This increase is due to the adolescence period which is marked by a quest for identity. This study aims to study the psychological factors that organize the anxious experience among adolescents exposed to marital violence. Data were collected through semi-structured interviews with three adolescents exposed to marital violence. The results obtained reveal that in adolescents exposed to marital violence, the adolescent's life is marked by the feeling of losing the mother following the various injuries. This will create different behavior in the subject (fear, sadness, worry, stress and anxiety). This behavior will now generate anxiety in them and in this case, the psychological system will be invaded by psychological vulnerability, psychosocial stress and imagination focused on acts of violence.

KEYWORDS: Marital violence, anxious experience, adolescent, Cameroonian.

RESUME: L'exposition des adolescents à la violence conjugale est également une situation anxieuse comme tout autre événement de vie négatif. Cette exposition constitue entre autres des situations anxiogènes les plus importantes chez les différentes victimes. La littérature nous fait constater que, l'anxiété chez les adolescents augmente autant que les violences conjugales perdurent. Cette augmentation est due à la période d'adolescence qui est marquée d'une quête d'identité. Cette étude se donne pour objectif d'étudier les facteurs psychiques qui organise le vécu anxieux chez les adolescents exposés à la violence conjugale. Nous avont fait recours à la méthode clinique comme méthode de recherche. Les données ont été collectées par l'entremise des entretiens semi-directifs auprès de trois adolescents exposés à la violence conjugale. Les résultats obtenus révèlent que chez l'adolescent exposé à la violence conjugale, la vie de l'adolescent est marquée par la sensation de perdre la mère suite aux différentes blessures. Ce qui va créer chez le sujet un comportement différent (peur, tristesse, inquiétude, stress et angoisse). Ce désormais comportement va engendrer en eux de l'anxiété et dans ce cas, l'appareil psychique va être envahi par une vulnérabilité psychologique, un stress psychosocial et un imaginaire axé sur les actes de violences.

MOTS-CLEFS: Violence conjugale, vécu anxieux, adolescent, camerounais.

Corresponding Author: Tabue Defo Fabrice Rocard

1 INTRODUCTION

La violence conjugale concerne les personnes de tous les âges, qu'ils vivent une relation maritale, extra maritale ou amoureuse (Gouvernement du Québec, 1995). Cette problématique peut affecter les personnes indépendamment de leur genre, de leur orientation sexuelle, de leur ethnie, de la religion à laquelle ils adhèrent ou de leur niveau socioéconomique (Sousa et al., 2011).

La présence d'un adolescent pendant le déroulement des violences conjugales peut être accompagné d'une angoisse de mort au sens de Mayi (2017). Cette angoisse de mort, inhérente à l'essence de l'homme est filiation de la probable anxiété avenir et rend compte du potentiel traumatogène de la situation conjugale de la famille. Le suivie après le diagnostic de l'anxiété n'échappe pas à la notion du prendre soins qui se reconnaît dans l'accompagnement psychologique.

En 2017, on évaluait à 30% le nombre de famille où se pratiquait les violences conjugales. D'après L'organisation mondiale de la santé (2013), 30% de toutes les femmes comprises entre 40 et 44 ans ayant eu une relation de couple ont subi des violences dans le monde. Ensuite, elle déclare qu'en Europe de l'Ouest, en Amérique du nord, en Australie et au japon, 32,2% des femmes subissent des violences physiques ou sexuelles de la part de leurs partenaires. Elle précise aussi que ce pourcentage est de 29,8% en Amérique centrale latine, puis de 36,6% en Afrique, et enfin de 37,7% en Asie du Sud-est. Plus de 50 ans malgré ces effets, les violences conjugales n'ont jamais arrêté d'être pratiquées dans différentes familles dans le monde et continues toujours d'être un déclencheur des troubles de comportements chez les victimes.

En Afrique, la violence conjugale est généralement perçue par les hommes comme un moyen de résolution des conflits et d'éducation de la partenaire (Tsala Tsala, 2009). Ainsi, Tsala Tsala (2009) explique que les époux légitiment la violence conjugale en arguant de leur droit de propriété: « c'est ma femme c'est tout", « elle me manque du respect", en parlant d'un moyen d'affirmation de leur identité masculine « c'est ce qu'elle aime chez moi » ou en justifiant comme une réponse à une provocation de la victime: « elle me provoque jusqu'à ce que je la frappe » (p. 175).

La tolérance vis à vis de la violence conjugale est aussi présente chez les femmes surtout chez les femmes rurales moins instruites qui acceptent davantage qu'un partenaire batte sa compagne pour la corriger (Tsala Tsala, 2009; McCloskey et al., 2016). Au Cameroun, les résultats de INS (Institut national de la statistique) indiquent que 30% des hommes considèrent qu'il est justifié qu'un époux batte son épouse/ sa compagne si elle a laissé brulé la nourriture, argumente avec son mari, sort sans sa permission, néglige les enfants ou refuse d'avoir des rapports sexuels.

La problématique de la violence conjugale pourrait avoir une grande signification particulièrement dans le contexte culturel où les droits de la femme ne sont pas souvent respectés, par conséquence, la violence est acceptée et soutenue par les normes culturelles et sociales. La société camerounaise est de type patriarcal. La femme est la cadette du mari et elle lui doit obéissance. Une autre explication de la présence de la violence conjugale, est la précarité. Car les femmes se disent que trouver un mari n'est pas facile. C'est ainsi qu'elles se sentent obligées de rester avec celui qu'elles ont trouvé, même au prix de leur vie.

Au Cameroun, dans plusieurs ethnies, les rapports conjugaux sont empreints d'une domination masculine et d'un manque d'intimité. Chez les Mkako de l'Est du Cameroun, une femme doit être soumise à son mari qui se réserve le droit de la battre s'il est mécontent. Elle ne doit jamais dominer son mari et surtout pas au point de vue de la force physique; Chez les Bamiléké et les Béti, la femme doit être soumise à son mari qui est considéré comme le chef du ménage (Kamdem, 2006).

Certaines études confirment qu'une dote élevée fragilise la stabilité conjugale et augmente la possibilité de violence conjugale (Aderson, 2007; Keugoung et al., 2013). Les hommes après avoir payé la dot, tendent à considérer la femme comme leur propriété ou encore comme un bien acheté à un prix exorbitant donc lui et son entourage peuvent disposer à leur guise (Tsala Tsala, 2009). Au Cameroun, les normes et les valeurs sont préservées et se propagent de génération en génération à travers différentes formes d'oralité (légendes, proverbes, chants, mythe et rituels).

De telles considérations expliquent l'augmentation statistique significative du taux de tolérance conjugale dans certains pays (Fine et al., 2019). Par ailleurs, les femmes violentées se plaignent dans leur famille ou dans celle du mari. La solidarité qui uni les familles, veut que le problème d'un de ses membres devienne celui de tous. L'intervention de la famille aura pour but d'éviter la dissolution du couple en difficulté car la famille a un rôle conservateur (Nguimfack et al., 2010).

Cette allégorie est encouragée par des slogans de sensibilisation propagés par les différentes presses de communication (écrite, radio et télé) qui disent précisément dans leurs tranches « non à la pratique de tous types de violences envers la femme»; d'autres encore plus délicates comme celle d'Equinoxe TV dans parole aux femmes « la violence tue » il est à préciser que tous ces moyens de communication transmettent un message identique.

Dans l'enquête démographique et de santé et à indicateurs multiples (EDS-MICS) 2011, réalisée en 2011 par trois structures à savoir: l'Institut National de la Statistique du Cameroun, le Ministère de l'Economie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire ainsi que le Ministère de la Santé Publique au moyen d'entretien avec plus de 15000 femmes, sont arrivés à la conclusion qu'au cours de leur vie, 45 % des femmes ont subis de la violence physique, 20 % de la violence sexuelle, 42 % de la violence émotionnelle de la part de leur marie ou partenaire. Il est à noter qu'au cours des 12 mois ayant précédé l'enquête, 20 % des femmes interrogées ont été forcées d'avoir des rapports sexuels avec un partenaire, 29 % ont subi de la violence physique et 33 % ont été victimes de violence émotionnelle de la part de leurs partenaires.

La pratique de la violence conjugale se faiyt souvent en présence des adolescents. Le ministère de la Promotion de la femme et de la famille (MINPROFF) (2015) a déclaré lors d'une étude basée sur la violence envers la femme au Cameroun qu'en cas de violence conjugale, 53 % à 80% des adolescents sont exposés et présentent des troubles de comportements. Dans le but de renchérir cette idée, le Comité pour l'élimination de la discrimination à l'égard des femmes (2016) se dit « préoccupé » par « le nombre d'adolescents exposés à la violence conjugale », il montre que dans 52 % des familles manifestant les violences conjugales, 32 % des adolescents sont exposés à la violence conjugale et manifestent des troubles psychologiques.

Allant toujours dans le sens de l'exposition des adolescents à la violence conjugale, le ministère des affaires sociales (MINAS) cité par crtv.CM (2023), l'exposition des adolescents serait à 34 % la cause de la montée de la délinquance juvénile au Cameroun. Suivant cette source, durant l'année 2022, la prison centrale de Yaoundé a enregistré plus d'adolescents venant des familles où se manifestent les violences conjugales pour les raisons de prise de substance psychoactive et meurtre.

Par ailleurs, selon le Social Institutions and Gender Index (SIGI) (2014) cité par l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) (2016), signale que si la violence conjugale doit être prise en compte, les victimes indirectes le doivent également. Dans cette lancée, ils affirment que plus de 70 % des adolescents sont exposés à la violence conjugale au Cameroun.

Différents auteurs (Cyr et al., 2013) se sont penchés sur le vécu des enfants exposés à la violence conjugale. La notion de vécu fait référence au ressenti du sujet, à sa propre expérience, au sens qu'il donne à sa situation, à ses croyances, à ses pensées. Ces enfants vivent des traumas complexes, incluant les troubles de l'attachement, des difficultés de gestion des émotions, Des troubles de dissociation et de concept de soi. Ces enfants sont aussi plus susceptibles de développer des troubles de comportement, d'anxiété, de dépression, d'agressivité et de communication.

Eisikovits et al. (1998) et Peled (1997), dans leurs revues des écrits, conceptualisent les expériences des enfants vivant dans une famille où il y a de la violence conjugale. Ils identifient quatre concepts qui représentent les difficultés majeures communes soulignées par l'exposition à la violence conjugale. A savoir, le fait pour l'enfant de vivre avec le secret, de vivre dans un conflit de loyauté, de vivre dans la terreur et la peur, enfin de vivre dans un contexte agressif et orienté vers la dominance. Ainsi toutes ces études ne se sont pas attardées au sens qu'attribuent les sujets à leur expérience. Le questionnement holistique de l'expérience d'être enfant Vivant en contexte de violence conjugale, en tant que réalité existentielle en soi, semble peu visité.

Utilisant l'étude de cas, nous nous attardons sur la façon dont l'adolescent camerounais exposé à la violence conjugale trouve des mots pour coller à des maux qu'il vit. Ou même encore la façon qu'il met en lumière leur vécu à l'exposition. C'est dans cette lancée que cet article questionne le vécu de l'adolescent camerounais exposé à la violence conjugale dans le but de comprendre comment cette dite violence les affecte dans un milieu où elle va grandissant et surtout considérée comme une norme par les hommes.

2 MÉTHODE ET PROCÉDURE

Cette recherche est qualitative, puisqu'elle est basée sur la compréhension du vécu anxieux face à l'exposition à la violence conjugale. Elle a donc une visée compréhensive et se focalise sur la méthode clinique, spécifiquement à l'étude de cas. Ce choix est fait parce que cette recherche a pour but l'exploration en profondeur de la personnalité et l'appréhension du vécu chez des adolescents exposés à la violence conjugale. Notre population d'étude est composée de trois adolescents régulièrement exposés à la violence conjugale. Le respect de l'anonymat a été mis en exergue dans cette étude à travers le changement des noms des adolescents.

Le choix des adolescents, comme les principaux participants de cette étude, se justifie par le fait que l'exposition à la violence conjugale a une place très importante dans l'équilibre psychique. Cette exposition à la violence conjugale va avoir un retentissement à la période d'adolescence. Autrement dit, les conséquences psychiques et sociales induites par l'exposition à la violence conjugale sont importantes dans la période de « l'adolescence ».

Cette étude s'est déroulée au lycée de Biyem-assi au Cameroun dans la ville de Yaoundé. Nous avons travaillé avec le service de l'orientation scolaire du dit établissement pour entrer en contact avec les adolescents. Dans le souci de parfait notre étude,

nous avons élaboré les critères d'inclusions. Pour être sélectionné dans cette étude, il fallait être un adolescent âgé entre 15 et 17 ans et résider au Cameroun, être exposé à la violence conjugale; être d'expression française.

Comme technique de collecte des données, nous avons utilisé l'entretien semi directif et le guide d'entretien comme outil de collecte des données. Les différents entretiens que nous avons menés avec les participants ont duré en moyenne 45 minutes et ont tous été enregistrés à l'aide d'un dictaphone, et ce après l'accord des participants. Trois entretiens ont été réalisés par participant (neuf entretiens au total). La technique d'analyse de contenu a été utilisée pour obtenir les résultats de l'étude.

Partant du fait que les recherche dans les sciences humaines et sociales, se focalisent sur les êtres humains, les conséquences peuvent surgie sur la vie, les droits et la dignité des sujets. De ce fait, nous nous sommes rassuré de la préservation de cette dignité humaine en respectant les principes d'éthiques et la déontologie du psychologue. Une fiche de consentement libre et éclairé à participer à la recherche et à l'enregistrement des entretiens a été signée par chaque participant qui était libre de se retirer de la recherche à tout moment. Nous nous sommes rassuré que les sujets aient les informations primordiales en ce qui concerne les buts poursuivis et l'utilisation des résultats de la recherche.

3 RÉSULTATS

Comme il a été mentionné plus haut, les participants de cette étude sont des adolescents exposés à la violence conjugale et nous les avons rencontrés au service de l'orientation scolaire du lycée de Biyem-assi où ils sont scolarisés. Pour le respect de la confidentialité et de l'anonymat, nous les avons surnommées: Lucas, Christ et Orlane.

3.1 PRÉSENTATION DES PARTICIPANTS

- Présentation de Lucas

Jeune adolescent de 15 ans, il est élève au lycée de Biyem-assi en classe de seconde série A4 allemand, et originaire de la région du Centre. Lucas est issu d'une famille polygamique; son père est gardien de sécurité et sa mère ménagère. Dans la famille de Lucas, le nombre d'enfants dans la fratrie est de 2 et il est l'unique à sa mère. Lucas et sa famille vivent à Symbok.

Au cours de l'entretien, il nous renseigne qu'il s'entend bien avec sa sœur. Nous l'avons également rencontré au service de l'orientation scolaire du lycée de Biyem-assi, il nous a dit être malchanceux parce qu'à chaque fois que son père bat ou insulte sa mère, il est toujours présent. Il nous a également relaté le fait que son père ne puisse faire une semaine sans avoir des problèmes avec sa mère et ceci se termine toujours par une bagarre, insulte et le refus de donner l'argent pour la nourriture. Lucas nous renseigne qu'à cause de ça, il est très stressé et il s'agite beaucoup et il n'aime plus sortir de la maison parce que ses amis vont se moquer de lui donc il préfère rester seul.

- Présentation de Christ

Âgé de 17 ans, Christ est un élève de la première série C au lycée de Biyem-assi. Il est d'ethnie Béti. Il vient d'une famille polygamique où son père est chauffeur de moto et sa mère ménagère, et le nombre d'enfants dans la fratrie est de 9. Sa mère a 5 enfants, dont 3 filles et 2 garçons, il occupe la 5^{e} place. Christ nous dit qu'ils sont en location à Tamtam. Nous avons rencontré Christ au service de l'orientation scolaire dudit lycée.

Christ nous rapporte que son père est un mauvais père parce qu'il passe son temps à gifler sa mère pour presque un rien. Car, il lui fait même souvent dormir hors de la maison. Pour Christ, son père est très violent et sévère. Il faut préciser que pendant les entretiens avec Christ, nous avons observé qu'il est envahi par un stress et surtout la peur de perdre sa mère.

- Présentation d'Orlane

Orlane est une adolescente âgée de 17 ans. Elle fréquente le lycée de Biyem-assi en classe de terminale C. Orlane est d'ethnie Bassa. Le statut matrimonial de ses parents c'est la polygamie. Le père de cette adolescente est un débrouillard et sa mère est ménagère. La mère d'Orlane a 3 enfants dont 1 garçon et 2 filles et elle est l'aînée de la famille. Le quartier d'Orlane est Obili.

Orlane a été rencontrée au service de l'orientation scolaire du lycée de Biyem-assi. Lors de l'entretien, Orlane nous fait savoir que son père est très méchant qu'il est toujours en train de minimiser sa mère. En plus, Orlane nous fait savoir que, au moment où son père veut battre sur sa maman, il utilise tout ce qu'il voit à côté de lui. Pour elle, c'est la raison de son stress et de son instabilité mentale.

3.2 ANALYSE DES DONNEES ISSUES DES ENTRETIENS

Nous allons organiser les résultats obtenus des analyses des entretiens avec les adolescents autour de trois registres: affectif, comportemental et relationnel.

3.2.1 LE REGISTRE AFFECTIF

Concernant ce registre, l'exposition à la violence conjugale entraîne un sentiment de bizarrerie, de peur, d'inquiétude et de colère. Lucas par exemple manifeste un sentiment de bizarrerie lorsqu'il donne son avis sur le comportement de son père. Il dit: « pour moi un, c'est bizarre ! Qu'est-ce –que je vais dire ! Bon, c'est un mauvais comportement. Mais, bon, c'est parce qu'il pense qu'il est fort, qu'il est l'homme, qu'il est le chef de famille. Pour moi c'est vraiment mauvais, j'aime beaucoup ma mère. Je suis inquiet pour la vie de mon frère, j'ai peur que quelque chose l'arrive, j'ai toujours ce sentiment de peur que j'éprouve »; à côté de ce sentiment de bizarrerie, Lucas manifeste de l'inquiétude par rapport à la vie de ses frères.

Tout comme Lucas, Christ pense que la pratique de la violence est très mauvaise. Quand il dit: « Je pense que la pratique de la violence conjugale est un acte qui ne conduit pas à la solution des problèmes. Il serait mieux pour mon père de trouver des moyens autres que la violence pour arranger ses multiples ennuis avec ma mère. C'est vraiment très mauvais de faire la violence sur une personne comme nous. Moi dans tous les cas je ne peux pas me comporter comme ça. Je dois me contrôler face à tout", il va par la suite présenter de l'angoisse de mort quant-à la vie de sa mère: » Quand il fait ça je pense toujours que ma mère peut mourir. Ça me met mal alaise ».

D'après Orlane: » comme un enfant normal, je ne peux que dire que mon père ne se comporte pas bien envers ma mère. Il la dérange trop. Il ne la respecte pas. C'est n'est pas bien toujours de dénigrer une mère. Je pense que papa est méchant. Vraiment méchant. Quand tu es père, tu dois penser à l'avenir de la famille ». Orlane continue dans son discours en disant: « je suis vraiment dépassée ! quand c'est comme ça, j'ai toujours peur que mon frère ou ma mère va mourir ! je suis vraiment inquiète ! je vous assure ».

3.2.2 LE REGISTRE COMPORTEMENTAL

En ce qui fait référence au registre comportemental, l'exposition à la violence conjugale va engendrer chez les sujets plusieurs comportements. Pour Lucas, on note par exemple du repli sur soi, de la colère, de l'insomnie ainsi que des pleurs incessants. Lucas dit: « je préfère rester seule dans mon coin quand je suis hors de la maison pour penser à ce qui se passe à la maison. Il y a de fois que je pleure et je me demande quand ça va finir. Je suis tout le temps en colère contre mon père. Vraiment un, quand ça se passe je perds beaucoup l'appetit, je ne mange plus, même le matin avant de partir à l'école, je ne prends pas le petit-déjeuner ».

Chez Christ, par contre, existe un comportement axé plus vers les prières: « Ça me dérange souvent jusqu'à je passe tout mon temps à faire les prières pour trouver les solutions", Orlane adopte un comportement de chrétien envers la pratique de son père qu'elle juge mauvais: « Souvent monsieur je réunis mes frères et sœurs pour prier et demander à Dieu de nous aider à sortir des problèmes en fait, de changer le cœur de mon père. C'est tout ce que je peux faire face à cette violence de mon père ».

3.2.3 LE REGISTRE RELATIONNEL

Pour le registre relationnel, l'exposition à la violence conjugale contribue à la dégradation de la relation avec la figure paternelle. Luca déclare: » Avec mon père un ! C'est très mauvais ! Souvent je ne pars même pas à l'école avec l'argent de beignets parce que je ne veux pas lui parler. Mais, c'est n'est pas pour dire que je ne le respecte plus. Je n'ai pas le choix ! C'est mon père ! Je vais faire how ! »

Christ à propos de la relation avec son père il mentionne qu'avec son père, il éprouve toujours de la colère lors des pratiques. Il dit par exemple: » avec mon père c'est bizarre ! Je ne sais même pas comment clarifier ! La relation n'est pas vraiment bonne. Quand il tape sur ma mère je suis toujours en colère contre lui », on note chez Christ de l'évitement suite aux actes de son père: « Je n'aime plus le voir. Même quand il est à la maison, je suis dans ma chambre. J'évite vraiment de le voir. Je ne veux même pas qu'il rentre souvent du travail. Je ne lui demande même plus rien même l'argent de beignets non ! Je ne fais plus ! Il est méchant envers ma mère ».

Dans la relation d'Orlane avec son père, on observe la colère qu'elle manifeste des pensées conduisant à la fugue: « Mais avec papa hein, c'est terrible. Il m'énerve beaucoup même ! Il ne se comporte pas comme un vrai père de famille. Je me dis

souvent que et si je quittais la maison pour de bon pour ne plus le voir, pour ne plus voir ce qu'il fait à maman tous les jours que Dieu a créé ».

4 DISCUSSION

Nos résultats abondent dans le même sens que d'autres recherches faites sur le sujet puisque l'exposition à la violence conjugale est reconnue pour avoir des impacts sur la santé mentale des enfants (Bekaert et al., 2012). Il y a lieu de constater que les résultats de la présente étude se situent dans un contexte socio-culturel où la violence conjugale est encore marquée par des considérations culturelles, parfois moins critiquée dans la population (Tsala Tsala, 2009).

Les travaux de Savard et Gaudron (2010); Paradis (2012) vont également dans le même sens que les résultats de la présente étude qui montrent que, l'exposition des enfants à la violence conjugale les met également à risque de vivre davantage des difficultés au niveau du fonctionnement social et académique (des difficultés d'apprentissage ou de concentration) ainsi que la présence de problèmes de comportement.

Nous pouvons dire que nos résultats convergent également, dans le même sens que ceux de Chiland et Young (1997) qui montrent que la fatigue et l'insomnie sont des conséquences importantes vécues par des enfants exposés à la violence conjugale, et très souvent l'anxiété se traduit par des cauchemars, et des agitations nocturnes. Il en de même pour les travaux de Lieberman et Van Horn (1998) qui indiquent que l'anxiété engendrée par la violence entre les parents va inévitablement entraver le fonctionnement psychologique de l'enfant et amener celui-ci à se réfugier dans un mode de relation indépendante.

Certaines études (Kindler, 2013) ont fait le constat selon lequel 40% des enfants exposés à la violence conjugale ont un retard de développement grave ou des difficultés scolaires significatives. Par ailleurs, l'étude de Kernic et al. (2003) a démontré que les enfants exposés à la violence conjugale avaient plus de problèmes de comportement et des compétences sociales moins bonnes que les enfants qui n'ont pas été exposés à la violence conjugale.

La représentation de la famille, comprend le couple parental et les enfants; ces derniers expriment de ce fait, le besoin de repères parentaux exclusifs. Les enfants qui ont participé à cette étude, relatent que le vécu relationnel des membres de la famille représentés est conflictuel.

5 CONCLUSION

La violence conjugale est une situation jugée comme anxieuse, ceci à travers son retentissement sur la santé psychologique et biologique des personnes qui y sont exposées. Ainsi, cette violence entraîne des conséquences chez l'adolescent exposé sur différents registres: affectif, comportemental et relationnel. Malencontreusement, au Cameroun comme partout ailleurs, les enfants (adolescents) pendant la prise en charge des victimes, sont la plupart du temps oubliés par les différents intervenants.

L'objectif de cet article était de comprendre le vécu des adolescents exposés à la violence conjugale. Pour y parvenir, la méthode clinique a été utilisée dans une approche qualitative. Les résultats de cette étude mettent en relief les problèmes que rencontrent les adolescents exposés à la violence conjugale au Cameroun à se faire accompagner psychologiquement à rendre la situation aversive tolérable. Cependant, dans le discours des adolescents, on peut observer qu'ils mettent l'accent sur la non maîtrise des émotions de la part de leur père.

REMERCIEMENTS

Au moment où nous mettons fin à ce travail, nous ne manquerons pas d'exprimer notre pleine gratitude à l'endroit de tous ceux qui nous ont apporté leur aide ainsi que leur soutien que ce soit de près ou de loin dans l'accomplissement de cette rédaction. Nos remerciements s'adressent spécialement à tous les adolescents qui ont accepté de partager avec nous leur vécu à l'exposition à la violence conjugale et à tous nos camarades de promotion qui ont apporté une immense contribution à la rédaction de ce travail de recherche à travers de multiples échanges.

REFERENCES

[1] Anderson, S. (2007). The Economics of Dowry and Brideprice. *Journal of Economic Perspectives, 21* (4), 151–174. https://doi.org/10.1257/jep.

[2] Bekaert, J., Caron, R., et Masclet, G. (2012). Le vécu subjectif des enfants exposés à la violence conjugale: l'anxiété et l'apport de variables protectrices. *La psychiatrie de L'Enfant, 55* (1), 247-268.

[3] Chiland, C. et Young, J. G. (1997). *Les enfants et la violence.* Paris Press Universitaire de France.

[4] Cyr, K., Chamberland, C., Clément, M.E., Lessard, G., Wemmers, J., Collin-Vézina, D., Gagné, M.-H., & Damant, D. (2013). Polyvictimization and victimization of children and youth: Results from a populational survey. *Child Abuse & Neglect, 37* (10), 814-820.

[5] Eisikovits, Z., Winstok, Z., et Enosh, G. (1998). Children's experience of interparental violence: A heuristic model. *Children and Youth Services Review, 20* (6), 547-568.

[6] Fine, S. L., Kane, J. C., Murray, S. M., Skavenski, S., Munthali, S., Mwenge, M., Paul, R., Mayeya, J. & Murray, L. K. (2019). *The Role of Violence Acceptance and Inequitable Gender Norms in Intimate Partner Violence Severity Among Couples in Zambia.* Journal of Interpersonal.

[7] Gouvernement du Québec (1995). Politique d'intervention en matière de violence conjugale: prévenir, dépister, contrer la violence conjugale. Auteur.

[8] Institut National de la Statistique. (2015). *Enquête par grappes à indicateurs multiples (MICS5),* 2014. Yaoundé, Cameroun.

[9] KAMDEM KAMGNO, H (2006), *genre et fécondité au Cameroun: une étude comparative des Bamiléké et des Béti,* thèse de Doctorat en Démographie, Université de Yaoundé II, IFORD, 258 pages.

[10] Kernic, M.A., Wolf, M.E., Holt, V.L., McKnight, B., Huebner, C.E. & Rivara, F.P. (2003). Behavioral Problems among Children Whose Mothers are Abused by an Intimate Partner. *Child Abuse and Neglect, 27* (11), 1231–46.

[11] Keugoung, B., Kongnyu, E. T., Meli, J. & Criel, B. (2013). Profile of suicide in rural Cameroon: Are health systems doing enough? *Tropical Medicine & International Health: TM & IH, 18* (8), 985–992. https://doi.org/10.1111/tmi.

[12] Kindler, H. (2013). *Partnergewalt und Beeinträchtigungen kindlicher Entwicklung: Ein aktualisierter Forschungsüberblick.* In Kavemann, & Kreyssing, U (éds.). Handbuch Kinder und häusliche Gewalt (3., aktualisierte und über-arbeitete Auflage). Springer.

[13] McCloskey, L. A., Boonzaier, F., Steinbrenner, S. Y. & Hunter, T. (2016). Determinants of Intimate Partner Violence in Sub-Saharan Africa: A Review of Prevention and Intervention Programs. *Partner Abuse, 7* (3), 277–315. https://doi.org/10.1891/1946-6560.7.3.277.

[14] Ministère des Affaires sociales, de la Santé et des Droits des femmes. (2015). *Violences faites aux femmes: les principales données.* Auteur.

[15] Nguimfack, L., Caron, R., Beaune, D., & Tsala Tsala, J.-P. (2010). Traditionnalité et modernité dans les familles contemporaines: un exemple africain. *Psychothérapies, 30* (1), 25. https://doi.org/10.3917/psys.101.0025.

[16] Organisation mondiale de la santé. (2013a). Global and regional estimates of violence against women: Prevalence and health effects of intimate partner violence and non-partner sexual violence. World Health Organization.

[17] Paradis, L. (2012). *L'enfant exposé à la violence conjugale: son vécu, notre rôle.* Direction régionale de santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale. http://www.tcvcm.ca/files/2015-12/eponge-web.pdf.

[18] Peled, E. (1997). Intervention with children of battered women: A review of current literature. *Children and Youth Services Review, 19* (4), 277-299.

[19] Savard, N., et Zaouche Gaudron, C. (2010). État des lieux des recherches sur les enfants exposés à la violence conjugale. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence, 58* (8), 513-522.

[20] Sousa, C., Forke, C. M., Myers, R. K., & Fein, J. A. (2011). «Longitudinal study on the effects of child abuse and children's exposure to domestic violence, parent-child attachments, and antisocial behavior in adolescence». *Journal of Interpersonal Violence, 26* (1), 111-36.

[21] Tsala Tsala, J.-P. (2009). Violences faites aux épouses et angoisse masculine chez les époux camerounais. *Le Divan Familial, 23* (2), 169. https://doi.org/10.3917/difa.023.0169.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1058-1062
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

الفيلم السينمائي بين المفهوم والتصنيف والتلقي

[The cinematic film between concept, classification and reception]

Abdouni abdelouahad

Arabic Linguistics Department, Hassan II University, Mohammedia, Morocco

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article seeks to define the concept of the cinematic film and the criteria for its classification, because examining these two elements is important from multiple angles, including seeking to overcome the problem of discrepancy in defining concepts, translating them, framing them, and employing them in their correct cognitive context, and having an accurate awareness of the mechanisms of the cinematic film and what it shares in some or most of its components, in addition to Distinguishing between cinema as an art and discourse and its technical aspect.

KEYWORDS: cinema, film, viewer, reception, image.

ملخص: يسعى هذا المقال إلى تحديد مفهوم الفيلم السينمائي ومعايير تصنيفه وذلك لأن الوقوف عند هذين العنصرين مهم من زوايا متعددة منها السعي لتجاوز إشكال التباين في تحديد المفاهيم وترجمتها وتأطيرها وتوظيفها في سياقها المعرفي الصحيح وامتلاك وعي دقيق بآليات الفيلم السينمائي وما يشاركه في بعض أو معظم مكوناته إضافة إلى التمييز بين السينما باعتبارها فنا وخطابا وبين جانبها التقني.

كلمات دلالية: السينما، الفلم السينمائي، المشاهد، التلقي، الصورة.

1 تقديم

يعد الخطاب الفيلمي نظاما له قانونه الخاص ولغته المختلفة عن غيرها من لغات التعبير الإبداعي، وذلك لارتباط هذا الخطاب بالبعد السمعي البصري و صلته الوثيقة ببقية الأشكال الفنية والأدبية وفي سياق هذا التداخل ينظر إلى هذا الخطاب باعتباره سلسلة من المشاهد التي تتسم بالترتيب والتتابع والحركة، والتي تتناول موضوعا يرتبط بغاية الفيلم ووظيفته أو وظائفه، كما يعد شكلا إبداعيا مطبوعا على شريط ملفوف يتسم بالتباين في زمن العرض والتنوع في الموضوعات، وتمثل الصورة في هذا الخطاب العنصر المهم باعتبار جانبه التجنيسي، ومن أهم خصائصه مشاركته للفنون الأدبية من مسرح[1] ورواية[2] وقصة[3] في العديد من الخصائص، من قبيل؛ الانطلاق من النص والارتباط بالحدث والمكان والزمن ... .

ولما كان الفيلم شكلا إبداعيا، فقد كان لزاما أن يكون موضوعا تهتم به علوم ونظريات متعددة من قبيل السيميائيات واللسانيات والأدب وعلم النفس وعلم الاجتماع وعلم الجمال..، كلٌ حسب زاوية رؤيته ومنطلقاته النظرية، ناهيك عن كونه فنا تلتئم تحته أنواع متعددة، بحيث اختلفت الآراء بين من يصنفه تصنيفيا يوازي التصنيف الأدبي[4]، وبين من يصنفه بناء على معايير استثمارية يمليها منطق العرض والطلب، وهناك من يسير على نهج التصنيف الأمريكي التقليدي الذي توخى وظيفة الإخبار الموجه للجمهور، باعتبار هذه العملية جزء لا يتجزأ من البعد التجاري للفيلم[5]، ومن خصائص هذا الخطاب أن بنيته التركيبية (صورة، صوت) ما

[1] Marguerite Chabrol et Tiphaine Karsenti 2013 «théâtre et cinéma », p17

[2] Christophe Gauthier, « Mensonge romantique et vérité cinématographique », 1895. Mille huit cent quatrevingt-quinze [En ligne], 31 | 2000

[3] سعيد عموري(2015)، من النص السردي إلى الفيلم السينمائي، قراءة في اشتغال المصطلح، ص 13.

[4] برنارد ف دايك2013 ، تشريح الأفلام ، ترجمة محمد منير الأصبحي، ص 11.

[5] تيمثوي أوريغان2013، دليل موجز للكتابة عن الفيلم، ترجمة محمد منير الأصبحي، ص 141 .

زالت تقوم على استدماج الفنون الأخرى ، وإن تم تعديل وتطوير تلك الاستدماجات بما يتلاءم مع الأسلوب والشكل الفيلمي[6]، كما أن الذات المبدعة فيه متعددة، مما ينعكس على طبيعة المنتوج الفيلمي ويقتضي التنسيق والتكامل بحيث يؤثر كل مساهم في بناء الفيلم على بقية المساهمين، لهذا لا يمكن رد نجاح أو فشل الفيلم إلى المخرج أو كاتب السيناريو أو المنتج أو الفكرة بقدر ما يرتبط بكل هؤلاء، وقد جاء هذا المقال للوقوف عند ثلاث أسس تعد منطلقات لفهم الخطاب السينمائي أولها تحديد ماهية الفيلم السينمائي وثانيها تلقيه وثالثها تصنيف.

2 مفهوم الفيلم السينمائي

يعتبر الفيلم السينمائي بنية ذات مستويات متعددة ينتظم كل منها وفق درجت مختلفة من التعقيد[7]، كما يعد عملا إبداعيا فنيا يتكون من سلسلة من الصور المرتبة والمتتابعة تطبع على شريط ملفوف على بكرة وتتسم بالتباين في زمن العرض والتنوع في الموضوعات، وتمثل الصورة المسجلة مادته[8] واللقطة[9] كلمته المعبرة[10]، وترتبط صفة التتابع بالحدث والزمن والحركة، مما يفرض على الفيلم السينمائي التماسك بين لحظاته ذات المسافة القريبة أو البعيدة، وهو تماسك منطقي يوجه إلى المشاهد عبر مؤشرات ظاهرة وخفية، مباشرة وغير مباشرة، تؤكد أو تنفي هذا التماسك والتكامل بين أجزاء الفيلم، ويعد الموضوع الفيلمي جزءا هاما في التعالق بين المَشاهد لأنه الإطار الجامع لهذه اللحظات المتتابعة، غير أن هذا التماسك لا يوازي الدلالة نفسها الموظفة في اللسان، إذ اعتبر (كريستيان ميتز) الخطاب الفيلمي قولا بصدد شيء ما تشابه فيه اللقطةُ الجملةَ ويخفي هذا التشابه العديد من نقاط التمايز، فعلى الرغم من أن الصورة في الخطاب السينمائي[11] تمثل كلاما دائما، إلا أنها لا تشكل وحدة لغوية، خاصة أن الدال السينمائي هو في ذات الوقت المدلول ولهذا يختلف تموقع الدال والمدلول بين النص والفيلم، ففي النص الروائي يكون التعبير الظاهري عن الأحداث والشخصيات قائما على مبدأين هما : (المقروء ، المتخيل) ، بمعنى أنه يعتمد على القراءة أولا لفهم المضمون ثم التخيل لوضع الصورة الشكلية لهذا المضمون، أما في الخطاب السينمائي فإن ترجمة التعبير تكون ظاهرة في ركائز ثلاث هي (المرئي، المسموع، المتحرك)، بمعنى أن يكون التعبير عن الحدث ظاهرا في توفير الدلالة البصرية (الصورة بكل أشكالها) والسمعية (الحوارات والمؤثرات الصوتية) والحركية (تفاعل الصورة مع المضمون والذي ينتج عنه شفرات ومدلولات المشاهد والأحداث). من هنا ترتبط دلالة الخطاب السينمائي بجملة من العناصر المتداخلة التي يلخصها مثال(رولان بارت) حول الرجل المستلقي على أريكة وهو يقرأ جريدته تحت ضوء خافت تعبيرا عن مدلول الاسترخاء الذي يجسد حصيلة لمجموعة من المدلولات المحال عليها بشكل مباشر عبر الدوال المشكلة للصورة، فالصورة ليست معطاة بشكل دقيق وسابق على التنظيم الذي يطال العناصر التي تبنيها، أي أن تفاعل عناصر الصورة في ارتباط بسياقها هو ما يحدد عوالم الصورة الدلالية .[12] كما عُرِّفَ الفيلم باعتباره وسيلة للتعبير لها حدود وقيود، لهذا يمكن أن يضم كل ما نريد قوله بدرجة عالية من الاقناع[13]، الأمر الذي دفع (برنارد ف. ديك) إلى اعتبار الفيلم نصا سمعيا بصريا،[14] وهذا يعني أننا أمام موضوع للدراسة قابل لأن ينظر إليه من زوايا متعددة، لقدرته على لمس أطر نظرية كثيرة، واتسامه بلغة فريدة ومميزة، وإمكانية النظر إليه باعتباره موضوعا للدراسة من مباحث متعددة، كما أن له القدرة على الإيهام بواقعية المشاهد، لهذا حقق الفيلم ما لم تحققه الفنون الأخرى، يقول يوري لوتمان :« إن تركيبية الأنظمة السيميائية والترميزات المتعددة للنص والتعددية السيمية الفنية التي تنتج عنها، كل ذلك يعطي للفيلم تركيبة تشبه المادة الحية التي تعتبر هي الأخرى تكتيفا لعدد هائل من المعلومات المعقدة التنظيم»[15]، ويتعلق الأمر بالقدرة الإبداعية الخلاقة في رسم عالم يوازي العالم الواقعي الذي يساهم في رفع درجة الثقة بمصداقية الفيلم[16] ، ويجسد فعل المصداقية مدخلا لغياب الحدود الفاصلة بين المشاهد والفيلم وفعل المشاهدة، رغم أن هذا الخطاب بنية تقدم واقعا غير الواقع الفعلي الذي نعيشه[17]، ولما كان الواقع مركبا بطبيعته فقد عُدَّ الفيلم شكلا فنيا شاملا لمجموعة من الفنون الأخرى[18]، ويضاف إلى شموليته قدرته على الجمع بين دلالته واستعماله، بحيث يصعب امتلاكه للمعنى دون هذه الثنائية المرتبطة بالبعد الثقافي من جهة، والبعد الرمزي من جهة ثانية[19].

يتضح من استقراء التعاريف المبثرة للفيلم، أنها تربطه بمفاهيم متعددة منها السرد والحدث واللغة والشخوص والأمكنة والصراع...، إذ نجد باحثين يعرفونه باعتباره قولا تم تثبيته بالكتابة والتصوير على الفيلم الخام، وأن النص الفيلمي وحدة خطابيا مركبة من رموز اللغة السينمائية[20]، كما نظر باحثون آخرون إلى الفيلم من جانبه التقني فاعتبروه وحدة ميكانيكية واقعية[21]، حيث ارتبط هذا التعريف بمجموع العلاقات الممكنة بين المَشاهد من حيث المونتاج والزمن والحدث، ومالت بعض التعاريف إلى النظر إلى الفيلم من زاوية تعالقه بالواقع، كما هو الشأن بالنسبة (للوي دي جانيتي) الذي اعتبر الفيلم فنا لا يتكون من نسخة من الواقع ولكنه نوع من الترجمة للخصائص التي يتم ملاحظتها والتي تتحول إلى أشكال الوسط الفيلمي[22]، حيث ترسل الأجهزة الإدراكية للإنسان رسائل حول ما نشاهده باعتباره

---

[6] علاء عبدالعزيز السيد (2008)، الفيلم بين اللغة والنص، مقاربة منهجية في إنتاج المعنى والدلالة السينمائية، ص7.

[7] يوري لوتمان 1989، مدخل إلى سيميائية الفيلم، ترجمة نبيل الدبس مراجعة قيس ص 130.

[8] رعد عبدالجبار تامر(2016) نظريات وأساليب الفيلم السينمائي، ص 49.

[9] يعرف يوري لوتمان اللقطة باعتبارها الوحدة الفيلمية الصغرى أي الجزء الفيلمي الذي يمتد بين تشغيل الكاميرة ولحظة إيقافها مهما كان المضمون، وتنتظم اللقطات في مشاهد والمتواليات في مقاطع أنظر:
يوري لوثمان1989،مدخل إلى سيميائية الفيلم ترجمة نبيل الدبس مراجعة قيس الزبيدي ص 38.

[10] يوري لوتمان 1989، مدخل إلى سيميائية الفيلم، ترجمة نبيل الدبس، مراجعة قيس الزبيدي، ص 38.

[11] كريستيان ميتز1987، لغة السينما، ترجمة محمد علي الكردي ص35.

[12] سعيد بنكراد(2006)، سميائية الصورة الإشهارية، الإشهار والتمثلات التقافية، ص 32.

[13] دانييل أريخون (1977)، قواعد اللغة السينمائية ، ترجمة أحمد الحضري، ص12.

[14] برنارد فان ديك(2013)، تشريح الافلام، ترجمة محمد منير الأصبحي، ص13.

[15] يوري لوتمان(1989)، مدخل إلى سيميائية الفيلم، ترجمة نبيل الدبس، مراجعة قيس الزبيدي، ص 30.

[16] علاء عبدالعزيز السيد(2008)، الفيلم بين اللغة والنص، مقاربة منهجية في إنتاج المعنى والدلالة السينمائية ، ص52.

[17] رعد عبدالجبار ثامر(2016)، نظريات وأساليب الفيلم السينمائي ، ص 53.

[18] المرجع نفسه، ص 49.

[19] R .barthes 1985, Sémantique de l objet ,p 240

[20] دانييل أريخون(1997) قواعد اللغة السينمائية، ترجمة أحمد الحضري،ص9.

[21] هنري أجيل(1980)، علم جمال السينما، ترجمة إبراهيم العريس، ص 50.

[22] لوي دي جانيتي(1993)، فهم السينما، السينما والأدب، ترجمة جعفر علي، ص 568.

حقيقة حتى وإن كانت غير حقيقية، ومن تم تزيد من حدة ردود افعالنا الشعورية، ويتضح ذلك عبر مقارنة الأفلام بالكتب، التي رغم قدرتها على إثارة مشاعر قوية لدى القراء، فإنها على المستوى الإدراكي تبقى خاضعة للكتابة التي ترتبط بتعدد التأويلات بناء على الطاقة التخييلية للقارئ، وحين نتأمل هذا البعد في الفيلم نلاحظ أن بعض الدارسين يذهبون إلى سلبية المُشاهد باعتباره متلقيا مقارنة بالرواية أو غيرها، يقول علاء عبد العزيز السيد :« إن عنصر التخيل غير متوفر، وكذلك الإمكانية في أن يلعب المتلقي دورا فاعلا في عملية المشاهدة، وذلك بسبب مسار الفيلم المحدد سلفا ووفق خطة للرؤية تحدد ما الذي يجب أن يراه ويسمعه المتلقي، وفي أي لحظة من الفيلم، بل وإلى متى تستمر هذه الرؤية بشقيها الصورة_ الصوت، وبذلك يصبح دور المتلقي قاصرا على إقامة بعض العلاقات العقلية بين هذه الأجزاء الفيلمية من أجل ربط الجزء بالكل، أو السبب بالنتيجة، [23]» إلا أن نظريات علم النفس تؤكد أن للفيلم أثر في المعالجة الذهنية اللحائية، وذلك لأن المَشاهد تتجاوز اللحاء العقلي وتمضي مباشرةً إلى المنطقة تحت اللحائية، حتى وإن كان المشاهد مدركا أنه أمام مشاهد غير واقعية [24] .

3 تلقي الفيلم السينمائي

يبدأ تلقي الفيلم السينمائي[25] من مبدأ فيزيائي، حيث تظهر الصورة متحركة للعين والدماغ إذا ما عرضت على الشاشة بسرعة محددة تتمثل في أربع وعشرين صورة في الثانية بالنسبة للسينما، وخمس وعشرين صورة بالنسبة للفيديو والتلفزيون. ويحدث ذلك من خلال مبدأ الثبات الشبكي حيث تثبت الصورة على الشبكة لمدة قصيرة حتى تصل إلى الدماغ، ثم تزول بسرعة من الشبكية، فإذا وقعت صورة ثانية على الشبكة قبل أن يزول شبح الصورة الأولى، فإن الصورتين تظهران على أنهما مترابطتين وهكذا يستمر هذا المبدأ خلال عرض الفيلم، ويملك الخطاب الفيلمي في ذاته شبكة معقدة من الرموز الدلالية المتضمنة لخواص فيزيائية مرئية، إذ تتكون الأفلام من صُوَر وأصوات تسمح لهذا الخطاب بأن يتجاوز الخاص إلى العام ليكون خطابا إنسانيا[26]، وتلك العناصر ليست عشوائية، بل تنطوي على إمكانيات دلالية ورمزية[27]، ويساهم كاتب السيناريو والمخرج والممثل بشكل رمزي في إنتاج عمل يحمل العديد من الدلالات باعتباره رسالة[28] تنتقل جزئيا عبر المَشاهد نحو المُشاهد، وأثناء هذا النقل يسم صُنَّاع الأفلام الرموز التي يُبدِعونها ببعض جوانب من ذواتهم[29]. ويتلقى المشاهد الفيلم عبر مشاعره الباطنية العميقة وأنماط سلوكه وقيمه الواعية وبديهياته الثقافية، ويتجه الفيلم نحو تعديل وتغيير تمثلات المشاهد أو تأكيدها أو رفضها وفق سلمية تتباين من مُشاهد إلى آخر، من هنا يمكن لمبدعي الفيلم تضمين هذا الخطاب مؤشرات تمثل رسائل مستضمرة للمشاهد، وتختلف درجة وضوح هذه الرسائل تبعا لطبيعة الفيلم والقدرة الإبداعية لفريق العمل والخبرة في المجال الإبداعي الفيلمي، وفي النهاية يتم تلقِّي تلك الرموز من جانب مشاهدين تتداخل أثناء مشاهداتهم ميكانيزمات ترتبط بالقدرة على إعادة بناء الحدث الفيلمي والاسترجاع والتداعي، ويتأسس هذا الخطاب على نسج علاقات تواصلية مع المُشاهد، انطلاقا من دوال تنتج المعنى من خلال السرد السينمائي، حيث تحل محل اللغة الطبيعية في العملية التواصلية، وبهذا يضعف الحوار ويتكامل بتفاعل الصورة المصاحبة للغة الحوارية، وقد يستغرق غياب الدوال اللفظية مشاهد عدة، ومع ذلك تكون لها دلالات هامة وتكون محملة بعلاقات اتساق قوية أو ضعيف، تبعا لمعرفة مبدعي الفيلم بشروط الاتساق الفيلمي، إضافة إلى أن للحركة والثبات في الخطاب الفيلمي دلالة ، والأمر نفسه يحدثه (الصمت والضجيج والموسيقى...)، حيث تتفاعل هذه العناصر -مهما بدت بسيطة- لإنتاج المعنى[30] الذي يرتبط بلحظات مشهدية (جزئية وكلية) تساهم في خلق الوحدة المعنوية التي تسمح بالحكم على عمل فيلمي ما بالانسجام، إذ على الرغم من كون الحركة أهم ما يميز الصورة السينمائية، فإنها ليست المحور الأساس لبناء المعنى، ولا يمكن بمفردها أن تكون البديل عن اللغة بقدرتها التنظيمية، والتي تكشف عن المعنى في النص الفيلمي، إذ تشكل الإضاءة والديكور وأداء الممثلين والصوت... علامات إنتاج المعنى المعبر عنه بالصورة، فإذا كان النص الفيلمي مكان تشغيل الرموز الحاملة للدلالة، فهو أيضا مكان تكونها، فالفيلم يساهم في خلق شِفرة بقدرما يطبقها ويوظفها.

ويرتبط الخطاب الفيلمي ارتباطا مباشرا بالبنية النفسية للمبدعين والمشاهدين، ولا يتوقف الأمر عند موضوع القصة أو اختيار الشخوص وحركية الحدث وأثر الزمن والمكان، بل يمتد إلى تموضع الكاميرة وزواياها واللون والضوء والصوت، حيث تربط المشاهد بين الخطاب الفيلمي والواقع الخارجي ربطا لا يكون بالضرورة تماثليا، إذ يتخذ هذا الربط شكل انسجام أو تناقض أو تشابه واختلاف ليمارس الفيلم أثره السحري على المشاهد فيوهمه بواقعية الحدث، وهو إيهام يضع المشاهد في سياق تواصلي متباين الجهات، حيث يساهم وعيه بلا واقعية الحدث الفيلمي طيلة لحظات الفيلم في الخروج من دائرة المشاهدة، وبالتالي لابد له من الدخول في حالة من تحويل اللا واقع إلى واقع مفترض لخلق الانتماء إلى هذه الدائرة، مما ينتج عنه مجموعة من الانفعالات إزاء الأحداث لحظة وقوعها، بل يتماهى المشاهد والشخصية ليتخذ مواقفها أو يبحث لها عن حلول مستدعيا قدراتها وإمكانياتها داخل الحدث الفيلمي، وهنا يعبئ الذاكرة البصرية للفيلم لينسج بالتالي علاقات بين ما المشهد السابق واللاحق، لتبقى الصورة رغم كل ذلك غنية في دلالاتها، وفقيرة في قراءاتها[31].

كما يتضمن الخطاب الفيلمي شخصيات تمارس ردود أفعال ناتجة عن انفعالات نفسية متباينة[32]، من قبيل الشعور بالخوف والحزن والرعب والسعادة والحب، إضافة إلى الصراع الخفي بين الانفعالات التي تعبر عنها الشخوص، وانفعالات المشاهد، وبهذا فالفيلم يمثل أرضية لكل هذه الحالات النفسية التي قد تعتري الشخصية الواحدة بين حدث وآخر. كما قد تعتري المشاهد في الوقت نفسه، وتشكل لقطات الكاميرة الأساس الذي تقوم عليه التجربة الإدراكية للمتلقي.[33]

---

[23] علاء عبدالعزيز السيد (2008)، الفيلم بين اللغة والنص، مقاربة منهجية في إنتاج المعنى والدلالة السينمائية، ص63.

[24] سكيب داين يونج2015، السينما وعلم النفس علاقة لا تنتهي، ترجمة سامح سمير فرج، مراجعة إيمان عبر الغني نجم، ص139.

[25] للتلقي علاقة قوية بمفهوم الانسجام بالنظر إلى أن هذا الأخير يبنى عند المتلقي من خلال خلفياته المعرفية، و يعد حكما ناتجا عن تلقي الخطاب من هنا جاء تناولنا لتلقي الفيلم السينمائي(أنظر فصل مفهوم الانسجام في هذا البحث)

[26] Collection d'auteurs 1983– Esthétique du film, p 112

[27] سكيب داين يونج2015، السينما وعلم النفس علاقة لا تنتهي، ترجمة سامح سمير فرج، مراجعة إيمان عبر الغني نجم، ص 26.

[28] Amedee AYFRE1968 – Le cinéma et sa vérité P 97

[29] سكيب داين يونج 2015،مرجع سابق، ص27.

[30] يوري لوتمان1989، مدخل إلى سيميائية الفيلم، ترجمة نبيل الدبس، مراجعة قيس الزبيدي، ص 43.

[31] Roland Barthes Rhétorique de l'image Communications Année 1964 4 p 40.

[32] http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000612/061213eo.pdf, p5

[33] سكيب داين يونج2015، السينما وعلم النفس علاقة لا تنتهي، ترجمة سامح سمير فرج، مراجعة إيمان عبد الغني نجم، ص 15.

4 التصنيف في الفيلم السينمائي

تتعد تصنيفات الخطاب الفيلمي[34]، حيث يرتبط تحديدها بالمدار الذي يلتقي فيه المساهمون في إبداع الفيلم (كاتب السيناريو،المخرج ،المنتج ،مدير التصوير مهندس الصوت) بالمستقبيلن(موزعين، نقاد، مشاهدين)[35] ، كما يتم تصنيف الفيلم على أساس أنماط مشتركة في الشكل والمضمون[36] ينطلق بعضها من معيار موضوع الفيلم[37]، ومنها من يركز اهتمامه على الهيمنة الموضوعاتية، وهناك من يذهب إلى اعتبار النوع الفيلمي مقولة تنميطية لمجموعة من الأفلام ظهرت بداية في الولايات المتحدة الأمريكية وقصد منها الإشهار بطبيعة الفيلم (الويسترن، الكوميديا الموسيقية) قصد إخبار الجمهور المتلهف بنوع ما، كما أن هناك من اعتبر أن النوع الفيلمي مرتبط بمتطلبات السوق [38]، وقد تتداخل الأنواع في كثير من الأفلام السينمائية إلى درجة يصعب التمييز بينها، وذلك لأن الخصيصة التي تميز الفيلم ارتباطه بواقع يشابه الواقع الحقيقي، وهذا الأخير لا يعبر بالضرورة عن بنية خالصة، إذ تتداخل الانفعالات والوضعيات والمواقف المتباينة، وبالتالي فنمطية الحدث تبعد الفيلم عن حقيقته المطلقة، لكن تبقى الموضوعات الأكثر انتشارا بين النقاد؛ الكوميديا الدرامية، الكوميديا الموسيقية، الرسوم المتحركة، الأفلام القصيرة ،الأفلام الوثائقية، الدراما النفسية، الجاسوسية، أفلام خيالية وعجائبية، أفلام موسيقية، أفلام سياسية، أفلام استعراضية، حروب، بوليسية، رعب، رعاة البقر، أفلام تعليمية، مع أن النوع الفيلمي قد يخضع في حالات كثيرة إلى تعدد الأنواع[39] .

خاتمة

تبين من خلال هذه الدراسة أن الفيلم السينمائي بنية مركبة يصح أن تكون موضوعا للدراسة من تخصصات متنوعة ومتباينة المصادر والمفاهيم وآليات الاشتغال وهذا لا يفقد الفيلم بعده التخصصي وإنما يزيده فاعلية ويقوي بنيته وطاقته الإبداعية، الأمر الذي يفسر التباين في تعريف الخطاب الفيلمي السينمائي وتحديد وظائفه، كما بينت هذه الدراسة ما يتسم به الفيلم من تطور مستمر يجعله قادرا على تغيير عناصر تشكل جزء من هويته في كل مرحلة توصف بالثورة في إعادة تشكيل جغرافيا العلوم والتخصصات المحيطة بالفيلم، وأن تطور هذا الخطاب رهين بتطور الصناعات التي تتدخل في تشكيل هذه الهوية وهي متنوعة لدرجة تفرض على الدارس اللجوء إلى تخصصات متعددة من أجل لمس الصورة المتكاملة التي تمثل حقيقة الفيلم السينمائي .

المراجع العربية

- برنارد ف دايك2013 ، تشريح الأفلام ، ترجمة محمد منير الأصبحي،
- تيمثوي كورجان2013، دليل موجز للكتابة عن الفيلم، ترجمة محمد منير الأصبحي،
- سعيد بنكراد(2006)، سميائية الصورة الإشهارية، الإشهار والتمثلات التقافية،
- يوري لوتمان(1989)، مدخل إلى سيميائية الفيلم، ترجمة نبيل الدبس، مراجعة قيس الزبيدي
- دانييل أريخون(1997،) قواعد اللغة السينمائية، ترجمة أحمد الحضري،
- رعد عبدالجبار ثامر2016، نظريات وأساليب الفيلم السينمائي،
- سكيب داين يونج2015، السينما وعلم النفس علاقة لا تنتهي، ترجمة سامح سمير فرج، مراجعة إيمان عبر الغني نجم
- سعيد عموري(2015)، من النص السردي إلى الفيلم السينمائي، قراءة في اشتغال المصطلح،
- علاء عبدالعزيز السيد (2008)، الفيلم بين اللغة والنص، مقاربة منهجية في إنتاج المعنى والدلالة السينمائية، ص7.
- عبد الجبار ثامر2016، نظريات وأساليب الفيلم السينمائي، مرجع سابق، ص 59
- علاء عبدالعزيز السيد (2008)، الفيلم بين اللغة والنص، مقاربة منهجية في إنتاج المعنى والدلالة السينمائية، ص63.
- كريستيان ميتز1987، لغة اليسنما، ترجمة محمد علي الكردي
- لوي دي جانيتي(1993)، فهم السينما، السينما والأدب، ترجمة جعفر علي
- هنري أجيل(1980)، علم جمال السينما، ترجمة إبراهيم العريس،
- يوري لوثمان1989،مدخل إلى سيميائية الفيلم ترجمة نبيل الدبس مراجعة قيس الزبيدي

[34] Frédérique Joly, « Chloé DELAPORTE (2015), Le genre filmique. Cinéma, télévision, Internet mis en ligne le 03 juin 2016, consulté le 19 février 2018.

[35] Éthis, Emmanuel2006. sociologie du cinéma et de ses publics, 74

[36] تيمثوي كورجان2013، دليل موجز للكتابة عن الفيلم، ترجمة محمد منير الأصبحي، ص 141.

[37] NACACHE, JACQUELINE1995. Le Film hollywoodien classique, p16.

[38] برنارد ف دايك2013، تشريح الأفلام ، ترجمة محمد منير الأصبحي، ص 195.

[39] المرجع نفسه، ص 198.

REFERENCES

[1] Amedee AYFRE, 1968, Le cinéma et sa vérité. https://doi.org/10.4000/cerri.1067
[2] Éthis, Emmanuel, 2006. Sociologie du cinéma et de ses publics.
[3] Chloé DELAPORTE (2015), Le genre filmique. Cinéma, télévision, Internet mis en ligne le 03 juin 2016.
[4] Christophe Gauthier, « Mensonge romantique et vérité cinématographique », 1895. Mille huit cent quatrevingt-quinze, 31 | 2000,
[5] Jean-Jacques Sadoux Georges Méliès, 2017, le cinémagicien Diasporique.
[6] Marguerite Chabrol et Tiphaine Karsenti, 2013 « théâtre et cinéma ».
[7] NACACHE, JACQUELINE1995. Le Film hollywoodien classique.
[8] Roland Barthes, Rhétorique de l'image, Communications, Année 1964, 4 pp. 40-51.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1063-1080
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analyse comparative de l'attractivité et des caractéristiques des IDE en Hongrie et en Tunisie

[Comparative analysis of the attractiveness and characteristics of FDI in Hungary and Tunisia]

Leila Nasri

Docteur en Sciences Economiques, Institut Supérieur de Gestion de Gabes, Tunisia

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Hungary and Tunisia are two countries that rely heavily on FDI as an important pillar of economic growth. These countries are similar in terms of market size, geographic proximity to Europe and in particular from the point of view of attractiveness to FDI. However, they are dissimilar from the point of view of economic performance, the productivity of factors of production, highly skilled labor, and so on. This article proposes to make, on the one hand, a comparison of attractiveness policies in the two countries as well as to present the quantitative specificities of FDI. On the other hand, this article focuses on the presentation of motivations as well as different strategies of investors. Finally, this work focuses on the effects of FDI on economic restructuring as well as on technology transfer in the two countries for the first half of the third millennium.

KEYWORDS: Comparison, FDI, Hungary, Tunisia.

JEL CLASSIFICATION: D2, F2, L1, P5.

RESUME: La Hongrie et la Tunisie sont deux pays qui comptent beaucoup sur l'IDE comme pilier important de croissance économique. Ces pays sont semblables de point de vue taille du marché, proximité géographique de l'Europe et notamment de point de vue volonté d'attractivité aux IDE. Toutefois, ils sont dissemblables de point de vue performances économiques ou productivité des facteurs de production, main d'œuvre hautement qualifiée etc. Cet article se propose de faire, d'une part, une comparaison des politiques d'attractivité dans les deux pays ainsi que de présenter les spécificités quantitatives des IDE. D'autre part, cet article s'attache à la présentation des motivations ainsi que des différentes stratégies des investisseurs. Enfin, ce travail s'intéresse aux effets des IDE sur la restructuration économique ainsi que sur le transfert technologique dans les deux pays pour cette première quinzaine du troisième millénaire.

MOTS-CLEFS: Comparaison, IDE, Hongrie, Tunisie.

CLASSIFICATION JEL: D2, F2, L1, P5.

1 INTRODUCTION

L'importance des IDE pour les pays tant développés qu'en développement est indiscutable. En effet, les IDE constituent un mode de financement relativement stable et sans contrepartie de remboursement. Les IDE jouent aussi un rôle important dans la stimulation de la restructuration des secteurs peu performants en plus de leur insertion dans l'économie internationale.

Corresponding Author: Leila Nasri

L'importance des IDE est de plus en plus connue pour les pays en développement et ceux émergents qui comptent beaucoup sur les IDE pour réaliser leur objectifs en matière de croissance économique et pour rattraper un retard déjà enregistré avec les pays développés. En effet, devant les problèmes de l'insuffisance de l'épargne, le chômage, le transfert technologique etc, l'IDE peut se présenter comme une solution majeure. Ainsi, dans un contexte d'économie libérale, les pays du Sud de la Méditerranée ont remplacé les politiques restrictives par des politiques d'attractivité de plus en plus accueillantes aux IDE.

La Tunisie, comme d'ailleurs, la majorité des pays du Sud, considère l'IDE comme l'une des solutions miracle pur accélérer sa croissance économique. C'est ainsi qu'on a assisté, surtout pour les deux dernières décennies, à une trame très dense de réformes afin de susciter l'intérêt des multinationales. Dans ce contexte, la Tunisie a commencé par un plan d'ajustement structurel au milieu des années 1980, sous l'œil vigilant du Fond Monétaire International (FMI), qui a participé dans la stabilisation de son environnement macroéconomique. Puis au début des années 1990, dans un environnement international de plus en plus libéral, la Tunisie a adopté une politique d'ouverture encore plus audacieuse qui s'est traduite par la signature d'un accord de libre-échange avec l'union Européenne en 1995 suivie par l'adhésion à l'OMC dans la même année.

De l'autre côté de la Méditerranée, l'élargissement de l'UE à 10 pays de l'Europe Centrale et Orientale (PECO) a été accompagné d'un flux d'IDE important qui a participé à la restructuration industrielle de leurs économies. En effet, grâce aux ressources financières apportées par l'investisseur étranger, au transfert technologique ainsi qu'au savoir-faire managérial ajouté à une intégration aux réseaux internationaux importants de production, l'IDE peut contribuer à la modernisation de l'appareil productif du pays d'accueil. Ceci peut avoir pour conséquence une convergence de systèmes de production Est-Ouest et donc à une restructuration profonde de leur économie. La Hongrie est considérée comme un des pays des plus receveurs d'IDE dans la région et qui a beaucoup tiré profit de cette attractivité accrue. En effet, dans un premier temps, lors de sa désintégration de l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques (URSS), pendant les années difficiles, le pays a largement profité des opérations de vente de plusieurs entreprises pour le remboursement de sa dette. Puis, dans un second temps, le pays a profité des IDE Greenfield pour restructurer son système productif et pour moderniser son industrie. Ce qui a permis au pays en un laps de temps de rejoindre le peloton des pays développés.

La question qui se pose pourquoi choisir de faire la comparaison entre la Hongrie et la Tunisie ? La réponse est simple, d'un côté, les deux pays ont des populations autour de 10 millions d'habitants chacun. Ils sont proches de l'Union Européenne (UE) et comptent beaucoup sur les IDE pour réduire les retards avec leurs partenaires européens. En effet, un des objectifs visés par leur adhésion à l'UE, de la Hongrie comme membre de l'UE et la Tunisie comme membre d'un espace commercial libre, est le drainage des IDE. D'ailleurs, plusieurs experts voient, justement, que les Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) et les PECO sont de vrais concurrents dans l'attractivité des IDE et que cette concurrence n'est accentuée, voire n'est apparue que quand les PECO ont choisi d'adhérer au vieux continent après une longue période de communisme. D'un autre côté, les deux pays paraissent être incomparables ou dissemblables, de point de vue performances économiques ou notamment productivité des facteurs de production, main d'œuvre hautement qualifiée etc.

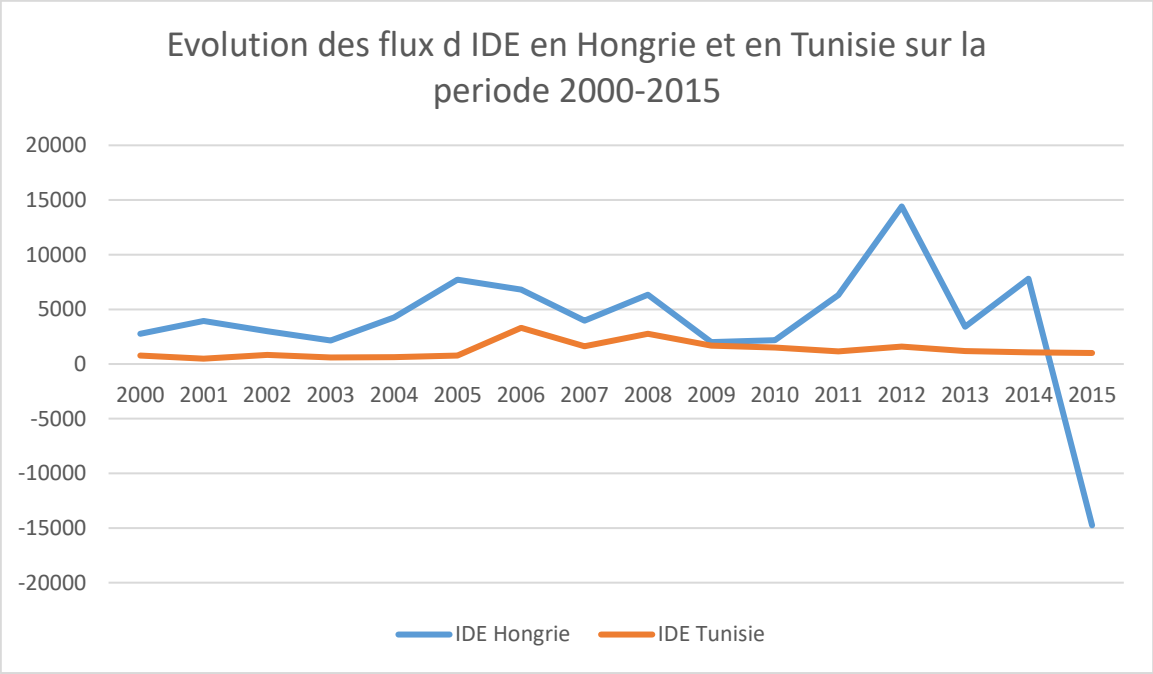
La politique d'attractivité aux IDE peut être définie comme l'ensemble de politiques économiques, fiscales et institutionnelles que les autorités mettent en œuvre afin de rendre leurs sites attractifs. Dans ce contexte, on se demande si la politique d'attractivité menée, à fond, a eu pour conséquence de drainer des IDE vers ces deux sites ? Si c'est oui, on se demande sur les caractéristiques de ces IDE, leur contribution à la restructuration économique et à la modernisation de l'appareil productif des deux pays ? On s'interroge aussi sur la nature de ces IDE: sont-ils de nature verticale, liés à la recherche de faibles coûts de la main d'œuvre dans le cadre de délocalisation complète ou partielle des unités de production ou plutôt de nature horizontale ou market- seeking motivés par le marché potentiel des pays d'accueil et la recherche de nouveaux débouchés. Les travaux existants montrent généralement que les facteurs stratégiques qui sont la conquête des marchés et leur potentiel de croissance prévalent tandis que la part des stratégies de délocalisation dans les IDE demeure secondaire (Ayachi (2005)). Cependant, l'impact des différences de coûts des facteurs, en particulier du travail parait être faible dans les études économétriques, contrairement à la Tunisie où cet impact persiste jusqu' à ces dernières années comme facteur de détermination important de l'entrée des IDE vers ce pays (Dupuch (2004)).

Toutefois, il semble difficile d'étudier le phénomène d'IDE sans la confrontation directe de deux approches, une relative à l'attractivité intrinsèque des pays hôtes et une autre relative aux interactions stratégiques des multinationales et à leur appréciation subjective des risques et opportunités présentés par ces pays. L'objet de cet article serait donc, d'un côté, de mener une comparaison des politiques d'attractivité dans les deux pays ainsi que de s'attacher aux spécificités quantitatives des IDE. En contrepartie, de l'autre côté, il s'agit de présenter les motivations ainsi que les différentes stratégies des investisseurs. Enfin, l'intérêt serait porté aux effets des IDE sur la restructuration économique ainsi que sur le transfert technologique dans les deux pays pour cette première quinzaine du troisième millénaire.

2 ANALYSE GLOBALE DES IDE EN HONGRIE ET EN TUNISIE

2.1 EVOLUTION DES IDE

Quasi inexistants pendant les années 1980, les flux d'IDE à destination de la Hongrie ont fortement progressé depuis 1988. Cette augmentation demeure encore remarquable pendant la première décennie de ce troisième millénaire. En effet, dès la transition au début des années 1990, le pays a élaboré un cadre économique et juridique favorables. Ce qui a permis de drainer les IDE vers ce pays. En 2015, le stock d'IDE a atteint un montant de 84,46 millions de dollars contre un stock d'uniquement 22870 en 2000 (Agence de Promotion de l'Investissement Etranger en Hongrie (APIEH) 2015). Le ratio stock d'IDE rapporté au PIB (82,2%) place le pays au premier rang dans la région de point de vue attractivité. Toutefois, pour la même année de 2015, ce stock important a été accompagné d'un flux d'investissement net négatif. Ceci est expliqué par le fait qu'en cette année, ont été recensés de très nombreux capitaux en transit sortants de la Hongrie. Il s'agit essentiellement, des instruments de dette résultant de différentes opérations intra-groupes (Conference Board (2017)).



Source: CNUCED

Tableau 1. Les investissements Directs Etrangers pour l'année 2015

	Hongrie	Tunisie
Flux d'IDE entrants (en millions USD)	-14751	1003
Stock d'IDE (en millions USD)	84822	31772
Nombre d'investissement greenfield*	103	13
IDE entrants (en pourcentage de la FBCF) **	-56,2	11,6
Stock d'IDE (en pourcentage du PIB)	69,4	80,4

Source: CNUCED 2015

**Les investissements greenfield correspondent à la création de filiales ex-nihilo par la maison mère.*

***La Formation Brute du Capital Fixe (FBCF) est un indicateur mesurant la somme des investissements, essentiellement matériels réalisés pendant une année.*

En ce qui concerne la Tunisie, il est à signaler que depuis le début des années 1970, le pays a donné une importance majeure aux IDE comme moyen de financement exterieur privilégié. Ce qui a permis d'augmenter les flux d'IDE reçus par ce pays qui ont doublé entre 1997 et 2005 en passant de 365 à 783 millions de dollars avec un taux de croissance de 152% (Agence de Promotion de l'Investissement Etranger en Tunisie (APIET) 2015). En 2010, les IDE reçus par la Tunisie ont atteint un montant de 1513 millions de dollars en devançant le Maroc et même l'Egypte, principaux concurrents de la région. Après une chute

importante, suite à la révolution sociopolitique, les IDE ont repris leur croissance à partir de 2013. Mais, grosso modo, à partir de 2011, suite à la révolution sociopolitique, les IDE se sont marqué par un fléchissement clair. En effet, selon le classement de Doing Business de 2014, le pays a reculé de cinq places, de la 45eme à la 50eme place. Ce classement est accompagné aussi, d'un recul dans tous les indicateurs.

Si l'on se réfère aux flux d'IDE annuels qui représentent de bons indicateurs de l'évolution des avantages de localisation d'un pays, des disparités énormes peuvent apparaitre entre la Hongrie et la Tunisie. En effet, bien que nous avons remarqué, pour les deux pays, une évolution des IDE en dents de scie, nous avons constaté, cependant, pour la Hongrie que les IDE gardent un niveau important malgré l'achèvement du processus de privatisation dès 1999. Au contraire, pour la Tunisie, la lecture des données statistiques révèle l'insuffisance de l'apport des investissements étrangers. Certes, le nombre d'entreprises à participation étrangère ne cesse de croître d'une année à une autre mais de point de vue valeur, ils restent relativement modestes. En fait, inversement à la Hongrie, cette augmentation demeure jusqu' à maintenant tirée par des opérations de privatisation et d'acquisition engendrant des pics exceptionnels. De même, cette évolution cache des différences énormes en termes d'importance d'ampleur, mesurée par le stock d'IDE par habitant. En effet, en 2015, la part d'un habitant dans le stock d'IDE était de 8606 dollars pour la Hongrie et presque le un tiers de ce montant pour la Tunisie, soit 3076 dollars (United Nations Public Administration Country Studies (2015)).

2.2 Repartition Des IDE Par Secteurs D'activite

Pour la Hongrie, nous remarquons pendant les quinze dernières années, que plus que 30% des IDE sont captés par le secteur industriel avec une prédominance des secteurs de l'automobile et de l'électronique. Toutefois, bien que l'industrie demeure primordiale dans l'attractivité des IDE, la Hongrie est le pays parmi ceux des PECO qui a attiré de loin le plus grand pourcentage des IDE dans les services, avec un pourcentage autour de 60% en particulier dans les activités de conseil en gestion d'entreprises, des télécommunications, de la distribution et de la finance (Eurostat (2015)).

Pour ce qui est de la Tunisie, contrairement à la Hongrie et bien que le pays ne soit un producteur de pétrole, le secteur des hydrocarbures reçoit plus que la moitié des IDE avec un pourcentage de 51,7% en 2015 (APIET (2015)). Les industries manufacturières se positionnent en second rang avec un pourcentage de 26,5% puis les services, notamment les télécommunications, avec un pourcentage de 21,4% pour la même année. Il est à signaler, cependant, que les IDE captés par le secteur manufacturier ont concerné depuis la loi off-shore de 1972 et jusqu' à la fin des années 1990 la production de textile intensive en main d'œuvre non qualifiée et à faible coût de production. Puis progressivement, la production de textile a cédé sa place à une nouvelle branche relative à la production de produits électriques et mécaniques qui n'a pas cessé de réaliser des performances importantes dès le début de ce troisième millénaire. En effet, en 2015, le secteur des industries mécaniques et électriques est le premier secteur exportateur en Tunisie avec 45% des exportations industrielles et 37,4% de la totalité des exportations (Agence de Promotion de l'Industrie de la Tunisie (APIT), 2015).

2.3 Forme Privilégiée Des IDE

Jusqu' à l'année 1995, lorsque le courant de privatisation était intense, autour de 35% des flux d'IDE reçus par la Hongrie sont des investissements greenfield (banque nationale de la Hongrie (1997)). Autour de 15% ont servi, cependant, à augmenter le capital des entreprises privatisées ou crées antérieurement et la moitié des IDE a été versée à l'Etat par le biais des privatisations. Toutefois, depuis cette date, ce sont les IDE greenfield qui ont dominé en représentant plus que 50% des IDE reçus par le pays. En 2015, le nombre d'investissement ayant cette forme était de 103.

Pour la Tunisie, la situation est nettement différente. En effet, les IDE greenfield ne représentent pas la forme privilégiée et leur pourcentage ne dépasse pas 3% de la totalité des IDE reçus par ce pays. En 2015, contrairement à la Hongrie, ce nombre n'a pas dépassé 13 (Doing Business (2015)). En effet, le pays attire des opérations légères, correspondant à la création d'unités de productions de tailles relativement modestes et orientées la plupart du temps vers des opérations d'exportations, susceptibles de se délocaliser puisque ce sont les faibles coûts de production qui les attirent et non pas la croissance du marché intérieur. En Tunisie, l'IDE prend la forme de *joint- venture* souvent minoritaires.

2.4 Repartition Des IDE Par Pays D'origine

Concernant leur origine géographique, les IDE hongrois proviennent majoritairement de l'Union Européenne. Actuellement le nombre de sociétés étrangères implantées en Hongrie est estimé à 27 000 (service économique de Budapest (2015)). Ces entreprises sont essentiellement européennes (représentant 77,2% du stock des IDE). L'Allemagne, avec 24,7% du stock (capital et bénéfices réinvestis) est de loin le premier investisseur étranger en Hongrie. Le Luxembourg arrive en deuxième

position avec 13,6% des IDE, suivi des Pays-Bas avec 12,4%, de l'Autriche avec 11,6% et de la France avec 4,2%. Hors UE, seules les entreprises suisses (3,7%) et américaines (2,6%) représentent à ce jour une part significative des IDE en Hongrie.

Comme pour la Hongrie, ce sont les pays européens qui maintiennent la majorité des IDE à destination de la Tunisie. Depuis plusieurs années, l'Europe contribue tous secteurs cumulés pour 70 % à 85 % des flux de capitaux investis (APIET (2016)). Les premiers investisseurs sont les Français, talonnés par les Italiens et les Allemands. La France est présente principalement dans les secteurs manufacturiers. À titre d'exemple, les secteurs du textile-habillement et celui du cuir et de la chaussure représentent la moitié du nombre d'entreprises à participation française.

3 POLITIQUE D'ATTRACTIVITE COMPAREE ET IMPORTANCE DE L'OUVERTURE ÉCONOMIQUE

Après la chute du régime communiste, la Hongrie a réussi sa transition politique et économique et a mis en place une économie de marché, largement ouverte aux investissements étrangers. En effet, le premier Mai 2004, la Hongrie a rejoint l'Union Européenne (UE) après une période de transition qui s'est amorcée sur plus de 10 ans et qui a préparé son adhésion totale à ce bloc économique important.

Toutefois, de point de vue attractivité aux IDE, le pays n'a pas attendu la fin de la période transitoire, puisque dès l'annonce de sa volonté pour l'adhésion au vieux continent, le pays a donné une image crédible de sa politique économique d'ouverture irrévocable. De plus, le comportement relatif à une économie de marché a été mieux constaté auprès de toute la population hongroise. Ceci est dû au fait de l'existence d'embryons d'entreprises privées au début des années 1980 et donc les hongrois ont appris déjà à faire des affaires, ce qui aurait le mérite de faciliter leur adhésion à l'UE. C'est ainsi, que le pays, d'ailleurs, dès le début des années 1990, ait attiré des IDE avec une avance sur ses principaux concurrents dans la région des PECO à savoir la Pologne et la République Tchèque, bien que ces deux pays maintiennent des indices macro-économiques nettement mieux favorables. Il ne s'agit pas uniquement de lois concernant les IDE mais d'autres qui ont touché tout le cadre règlementaire permettant de passer à une économie de marché. Arrivant à 2004, quand le pays a rejoint l'UE, en plus de la position géographique au cœur de l'Europe, le pays est devenu un site d'attractivité majeure. En effet, la date 2004 est venue pour annoncer à tout le monde l'insertion irrévocable de la Hongrie dans l'économie internationale à travers un grand bloc économique libéral.

Outre sa politique d'ouverture réussie, la Hongrie dispose d'autres facteurs d'attractivité importants. En effet, la proximité de l'Europe ne se limite pas aux plans géographique et culturel mais s'étale à l'infrastructure et aux voies de communication ainsi qu'à la mentalité. Le pays se démarque aussi par des opportunités considérables de la chaîne d'approvisionnement dans les industries automobile et électronique.

La Hongrie est dotée d'une population active très instruite douée, disciplinée adaptable et d'un niveau de qualification élevé avec un accent particulier sur l'ingénierie, la médecine et l'économie. En 2015, le taux d'alphabétisation était de 99,1% (OCDE (2016)). Comparé aux normes ouest-européennes, la main d'œuvre hongroise est considérée comme bon marché par rapport à sa qualification, sa compétence et ses aptitudes à la reconversion d'une part, et par rapport à son prix d'autre part, qui est nettement meilleur que celui de ses voisins concurrents en Pologne et en République Tchèque.

Au niveau du cadre juridique et institutionnel, la Hongrie se démarque par des textes clairement établis qui donnent au pays un environnement favorable pour une croissance durable. Il s'agit ainsi d'un environnement très propice aux investisseurs étrangers. En effet, c'est la constitution hongroise qui stipule dans son article 13 que l'Etat ne peut exproprier des biens que dans des cas exceptionnels où l'intérêt public est en jeu. La loi propose, aussi, des protections importantes afin d'assurer la protection de la propriété et de l'investissement en Hongrie. L'Etat s'engage, en plus, de protéger les investisseurs et les activités des investisseurs résidents non hongrois et garantit qu'ils soient traités de la même manière que ceux hongrois. A ce niveau, le pays enregistre, de point de vue de l'indice relatif au pouvoir des actionnaires de défendre leur droit le chiffre le plus important dans le monde (8) en devançant la moyenne de l'Europe de l'Est et d'Asie Centrale (6) ainsi que les Etats Unis (4). La loi garantit aussi aux investisseurs étrangers le rapatriement des bénéfices et des capitaux d'investissement à leurs pays d'origine en cas de résiliation partielle ou complète de leurs entreprises.

Tableau 2. Comparaison de la protection des investissements entre la Hongrie et la Tunisie en 2015

	Hongrie	Tunisie
Index de transparence des transactions*	2	4
Index de responsabilité des managers**	4	7
Index du pouvoir des actionnaires***	8	3
Index de protection des investisseurs	5.5	4.7

Source: Doing Business

Plus l'index est grand, plus les transactions sont transparentes. **Plus l'index est grand, plus les managers sont personnellement responsables. ***Plus l'index est grand, plus les actionnaires ont le pouvoir de défendre leur droit. ** Plus l'index est grand, plus la protection des actionnaires est importante.*

La Hongrie est un pays qui se démarque aussi par un secteur privé très actif et efficace et qui contribue à hauteur de 70% de la valeur ajoutée du pays contre uniquement 10% en 1990 (banque nationale de la Hongrie (2016)). Cette évolution remarquable est expliquée, en grande partie, par les opérations de privatisation qui ont touché la plupart des entreprises industrielles (agro-alimentaire, énergie, chimie...) ou notamment les activités de service public telles que les banques et les télécommunications. Ces opérations de privatisation, en apportant de la technologie, ont permis la modernisation du tissu industriel et de l'appareil productif du pays ainsi qu'au développement du secteur des services. Ce qui a permis au pays de financer le déficit de ses comptes courants.

Pour la Tunisie, il est important de signaler, que le pays partage la Hongrie la même volonté de libéralisation de son économie et son insertion dans l'économie internationale à travers la porte de l'UE. La seule différence, en la matière, c'est que la Tunisie avait souvent une politique accrue d'ouverture sur le vieux continent. De sa part, l'Europe a eu depuis longtemps une approche globale méditerranéenne. Conçue dès la fin des années 1960, cette approche avait aboutie à la signature d'une panoplie d'accords commerciaux dans lesquels, la Tunisie a bénéficié d'une manière non réciproque, d'un accès libre de ses produits industriels et d'un accès préférentiel de ses produits agricoles. Ces accords s'inscrivent dans le cadre du Système Généralisé de Préférences (SGP) de la communauté mis en place en 1971. De sa part, la Tunisie a montré sa volonté d'ouverture avec plusieurs règlementations qui ont renforcé cette politique d'ouverture. Il s'agit de la fameuse loi offshore qui a visé l'attractivité des IDE ainsi que l'introduction du pays dans la chaine de valeur mondiale. Cette loi a représenté, pendant cette époque, qui a suivi l'indépendance du pays, une vraie révolution dans la région entière[1].

Comme a désiré la Tunisie, cette loi avait le mérite d'attirer les premiers investisseurs surtout dans le secteur de textile habillement orienté quasi-totalement vers l'exportation et qui est connu par sa compétitivité prônée au niveau international jusqu' à nos jours.

La libéralisation multilatérale qui a marqué le début des années 1990 et surtout avec la naissance de l'OMC, a mis fin aux préférences accordées aux PSEM depuis 1972 et qui sont devenues incompatibles avec les nouvelles règles de l'OMC.

En 1995, la signature de l'accord de partenariat Euro-méditerranéen a représenté pour la Tunisie l'évènement le plus important de politique extérieure et a couronné sa politique d'ouverture accrue envers l'UE.

En effet, pour la première fois, depuis sa création, l'UE a défini un projet global d'intégration vis à vis de son Sud. Aujourd'hui, ces accords de libre-échange signés avec l'UE se situent dans un nouveau contexte de mondialisation, de globalisation financière et de multilatéralisme au sein de l'OMC mais aussi au sein de la montée d'un nouveau régionalisme Nord-Sud. La nouvelle dynamique d'insertion de la Tunisie à l'économie internationale, initiée notamment par la signature de l'accord de libre-échange avec l'UE, s'est traduite par une ouverture accrue sur le capital international. En effet, un des objectifs des plus importants visé par l'accord de Barcelone était le drainage des IDE qui vont permettre au pays de remédier aux problèmes relatifs à l'insuffisance de l'épargne, à la création de postes d'emplois ainsi qu'au transfert technologique.

[1] C'est une loi devant permettre à la Tunisie d'être plus attractive aux entreprises étrangères en les exonérant totalement des impôts pour les produits industriels destinés pour l'exportation (dans les faits, elle peut en découler une partie, à des proportions ne dépassant pas 20% de leur chiffre d'affaires, sur le marché local en 1993 la part destinée au marché local pouvant atteindre 30% avant d'être augmentée à 50% en 2011). Si cette société est non résidentes, au minimum, 66% de son capital doit être détenu par des non-résidents. De même, ces entreprises peuvent rapatrier les bénéfices de leurs exportations en devises dans leur pays de résidence (leurs bénéfices seront donc moins touchés par les fluctuations du dinar tunisien).

Outre sa politique d'ouverture accrue, comme la Hongrie, la Tunisie a déployé beaucoup d'efforts afin d'améliorer l'attractivité de son site. Cette politique d'incitation a commencé, d'ailleurs, dès 1972. Puis, depuis le début des années 1990, nous avons remarqué que la perception de la Tunisie vis-à-vis des IDE ne cesse de se renforcer. Ainsi, consciente de leur importance dans son économie, le pays n'a pas manqué de mettre en place un ensemble de politiques économiques stabilisatrices et des mesures incitatives afin d'améliorer l'attractivité de son site national. Ce qui a permis de réaliser une stabilité macro-économique qui s'est renforcée par un soutien étranger sous forme de rééchelonnement de la dette. En plus, le climat des affaires s'est amélioré d'une manière sensible. En effet, malgré les difficultés engendrées suite à la révolution de 2011, selon le rapport de la banque mondiale *Doing Business 2015* mettant en relief les facteurs déterminants la facilitée de faire des affaires, la Tunisie est classée à la 60eme position parmi un total de 189 pays. Elle se place à la tête des pays du Maghreb et devance même des pays développés ainsi que certains pays émergents.

Sur le plan institutionnel, l'effort du pays en matière d'attractivité, s'est traduit par la naissance d'une agence de promotion des IDE qui se concentre sur la présentation et l'énumération des atouts du pays qui ne cessent de s'améliorer, depuis déjà les années 1970, lorsque la Tunisie a donné des privilèges fiscaux à l'investisseur étranger, qui restent jusqu' aux nos jours une référence pour toute la région du Nord de l'Afrique et du Moyen Orient. La mise en œuvre d'un code des incitations aux investissements en 1993 a joué aussi un rôle important dans l'augmentation des flux d'IDE vers le pays, surtout vers le secteur manufacturier qui a été nettement ciblé dans ce code. En effet, parmi les incitations qui ont représenté des facteurs d'attractivité importants sont les exonérations fiscales ainsi que la prise en charge des cotisations sociales et des frais d'infrastructure. En plus, le pays a constitué des zones franches qui constituent pour l'investisseur étranger des pôles de compétitivité importants. La Tunisie a pu, aussi, réduire d'une manière remarquable, les formalités administratives. Aujourd'hui, il est possible de créer une entreprise en 11 jours. De point de vue protection des investissements, la Tunisie est signataire des accords de garantie et de protection des investissements avec plusieurs pays. A ce niveau, il était remarqué qu'aucun cas de controverse n'a été enregistré auprès de la CNUCED. La Tunisie a aussi réalisé des chiffres importants, d'après Doing Business, de point de vue transparence des transactions ou notamment responsabilité des managers (voir le tableau 3). Comme la Hongrie, la Tunisie a joué beaucoup sur une politique macroéconomique de stabilisation afin d'améliorer l'attractivité de son site aux IDE.

Tableau 3. Principaux indicateurs macroéconomiques de la Hongrie

	2000	***2001***	***2002***	***2003***	***2004***	***2005***	***2006***	***2007***	***2008***	***2009***	***2010***	***2011***	***2012***	***2013***	***2014***	***2015***
PIB /tête (US$)	*4629*	*5280*	*6659*	*8413*	*10288*	*11207*	*11465*	*13952*	*15814*	*13113*	*13187*	*14223*	*12954*	*13740*	*14275*	*12579*
FBCF (% PIB)	*25,4*	*24,75*	*24,63*	*23,605*	*23,97*	*23,77*	*23,476*	*23,55*	*23,15*	*22,705*	*20,24*	*19,67*	*19,27*	*20,85*	*22,16*	*22,5*
Solde des transactions courantes (%PIB)	*-8,4*	*-5,82*	*-6,38*	*-8,01*	*-8,5*	*-6,97*	*-7,04*	*-7,11*	*-6,92*	*-0,76*	*0,26*	*0,8*	*1,71*	*3,77*	*1,45*	*3,41*
Inflation (%)	*9,8*	*9,15*	*5,27*	*4,66*	*6,75*	*3,56*	*3,92*	*7,97*	*6,06*	*4,21*	*4,87*	*3,93*	*5,65*	*1,74*	*-0,23*	*-0,06*
Taux de chômage (%)	*6,5*	*5,6*	*5,6*	*5,7*	*5,8*	*7,1*	*7,4*	*7,4*	*7,8*	*10*	*11,1*	*11*	*11*	*10,1*	*7,7*	*6,8*
Taux de change (Forint/US$)	*282,1*	*286,5*	*257,88*	*224,3*	*202,7*	*199,58*	*210,4*	*183,62*	*172,11*	*202,34*	*207,9*	*201*	*225,1*	*223,7*	*232,6*	*279,33*
Dette publique (% PIB)	*55,3*	*51,9*	*55,3*	*57,9*	*58,7*	*60,5*	*64,5*	*65,5*	*71,6*	*77,8*	*80,2*	*80,5*	*78,4*	*77,2*	*76,7*	*76,7*
Balance commerciale (mds US$)	*-3979*	*-3181*	*-3238*	*-4714*	*-4972*	*-3616*	*-3001*	*-165*	*-436*	*5248*	*7305*	*9872*	*8394*	*7384*	*5726*	*6550*

Source: Banque nationale de Hongrie, OCDE, Eurostat, CNUCED.

Tableau 4. Principaux indicateurs macroéconomiques de la Tunisie

	2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
PIB /tête (US$)	*2214*	*2255*	*2346*	*2762*	*3113*	*3194*	*3372*	*3778*	*4310*	*4130*	*4140*	*4257*	*4138*	*4199*	*4274*	*3828*
FBCF (% PIB)	*25,2*	*25,3*	*24,8*	*22,9*	*22,1*	*21,4*	*22,6*	*23*	*23,5*	*24,3*	*24,6*	*21,9*	*22,5*	*21,9*	*20,6*	*19,4*
Solde des transactions courantes (%PIB)	*-3,8*	*-3,81*	*-3,22*	*-2,66*	*-1,42*	*-0,93*	*-1,8*	*- 2,36*	*-3,82*	*-2,84*	*-4,78*	*-7,4*	*-8,26*	*-8,39*	*-9,12*	*-8,95*
Inflation (%)	*2,9*	*2,2*	*2,7*	*2,7*	*3,6*	*2*	*4,1*	*3,4*	*4,9*	*3,5*	*4,4*	*3,5*	*5,6*	*6,1*	*5,5*	*4,9*
Taux de chômage (%)	*13,9*	*13,3*	*13,5*	*12,7*	*12,4*	*12,8*	*12,5*	*12,4*	*12,4*	*13,3*	*13*	*18,9*	*16,7*	*15,3*	*14,8*	*15,2*
Taux de change (Dinar/US$)	*0,729*	*0,695*	*0,703*	*0,776*	*0,803*	*0,77*	*0,751*	*0,78*	*0,811*	*0,74*	*0,698*	*0,71*	*0,640*	*0,615*	*0,589*	*0,509*
Dette publique (% PIB)	*65,94*	*54,71*	*54,15*	*55,13*	*54,11*	*52,42*	*47,95*	*44,8*	*42,02*	*40,69*	*39,22*	*34,07*	*47,68*	*46,85*	*51,53*	*55,43*
Balance commerciale (mds US$)	*-2717*	*-2898*	*-2652*	*-2883*	*-3133*	*-2683*	*-3313*	*-3934*	*-5318*	*-4651*	*-5789*	*-6105*	*-7463*	*-7205*	*-5037*	*-6148*

Source: Banque centrale de Tunisie, INS, CNUCED.

Toutefois, malgré l'importance des incitations qu'a données la Tunisie, le volume des IDE reçus par le pays reste loin des attentes de point de vue quantité ou, notamment, qualité, surtout en rapport, avec la Hongrie qui a largement réussi dans le drainage des IDE vers son site. Ceci peut être expliqué, justement, par le fait que les pays des PSEM dont la Tunisie fait partie avaient perdu en attractivité quand les Pays de l'Europe Centrale et Orientale (PECO) dont la Hongrie fait partie ont commencé à s'intégrer dans l'espace européen à partir du milieu des années 1990. En effet, alors que les pays du PSEM se sont limités aux facteurs macroéconomiques ainsi que l'ouverture économique comme déterminant quasi unique de leur politique d'attractivité, les pays du PECO qui sont, d'ailleurs, plus proches géographiquement, se démarquent par une main d'œuvre plus éduquée, d'un secteur privé dynamique, d'une consommation intérieure en pleine croissance et d'une réforme des institutions importante. En plus, contrairement à la Hongrie qui a réussi sa politique d'intégration à l'économie internationale à travers son adhésion à l'Union Européenne, la stratégie d'intégration de la Tunisie, comme d'ailleurs ses autres voisins méditerranéens et malgré son importance, manque de cohérence. En effet, il s'agit d'une stratégie qui se base sur la signature d'une panoplie d'accords bilatéraux. Or ce nombre assez important d'accords a provoqué des problèmes relatifs à la superposition des régimes douaniers. Il s'agit, surtout, de l'augmentation des coûts d'information et de transaction pour les différents opérateurs en plus de la création de plusieurs problèmes administratifs, notamment au niveau des services douaniers. Bref, nous pouvons dire que ce qui a fait la différence pour la politique d'ouverture des deux pays est leur degré d'ancrage avec l'UE. En effet, alors qu'on parle d'un "full member" de l'UE pour la Hongrie, il s'agit d'un simple partenariat Euromed pour le cas de la Tunisie. L'insuffisance de la politique off-shore qui représente le pilier le plus important pour la politique d'attractivité de la Tunisie dès 1972 peut aussi expliquer ces problèmes. En effet, Hormis le rapatriement des bénéfices, les avantages ont évolué. Les industries ont pu vendre une plus grande partie de leur production localement, contrairement à ce qui était initialement défini par la loi 72. Les entreprises ont non seulement une déduction d'impôt, mais peuvent mettre sur le marché tunisien leurs produits à moindre coût. En 1993, la part destinée au marché local pouvait atteindre 30% du chiffre d'affaires, avant d'être augmentée à 50% en 2011. Désormais, si 50% de la production est destinée au marché local tunisien, l'entreprise est toujours considérée comme "totalement exportatrice", et donc comme une société offshore. Elles entrent alors en concurrence avec les sociétés ne bénéficiant pas des mêmes avantages fiscaux. Aujourd'hui, nous avons abusé de ce système à un point ou deux tiers des exportations sont offshores. Ce qui a soulevé beaucoup de critiques, surtout de la part de l'UE principal investisseur et partenaire commercial qui a inscrit la Tunisie sur la liste noire des juridictions fiscalement non-coopératives en décembre 2017. Ce qui a poussé le pays à promettre de réduire l'écart entre le système offshore et onshore. En 2018, les entreprises non exportatrices qui ont été imposées à 35% par la loi de 1972, sont imposées à 25%. Certaines petites et moyennes entreprises bénéficient même d'une réduction à 20% avec la loi de finances de 2018. Actuellement, plusieurs experts parlent de l'importance de supprimer l'écart entre les deux systèmes en uniformisant

les taux d'imposition à 10%. Ce qui laisse le pays en compétition fiscale, comme l'Irlande qui est à 12%. Si par contre, le pays choisit d'augmenter le taux d'imposition des entreprises exportatrices, il prend le risque de voir une partie des sociétés concernées quitter le pays.

4 CARACTERISTIQUES QUALITATIVES DES IDE EN HONGRIE ET EN TUNISIE

4.1 MOTIVATIONS DES INVESTISSEURS ET IMPORTANCE DE L'INVESTISSEMENT INTERIEUR

Bien qu'avec un marché ne dépassant pas 10 millions d'habitants, le marché hongrois représente un marché important pour les biens de consommation. En effet, dès le début de ce millénaire, des experts hongrois ont montré qu'un marché avec plus de 1,5 millions de consommateurs de bière, 2 millions de fumeurs, environ 4 millions de buveurs de Pepsi ou de coca cola peuvent représenter pour les grandes multinationales concernées un niveau inconcevable en Europe occidentale. Que dire, après une période de quinzaine d'années, marquée par une nette amélioration des différents indicateurs macroéconomiques et une montée en puissance de l'économie hongroise qui a été accompagnée par une amélioration du bien-être de ses consommateurs à pouvoir d'achat européen. En effet, sur la période 2000-2015, le revenu par tête d'un hongrois a doublé et a atteint, un montant de 25200 dollars en 2015 contre 11270 en 2000 (CNUCED (2015)). Il s'agit également d'une solide consommation des ménages qui ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre. En 2015, selon le bureau des statistiques hongrois, cette augmentation est autour de 4%.

L'investissement local ou notamment étranger déjà existant peut aussi présenter de réelles motivations pour attirer les IDE. En effet, l'expérience internationale, que ce soit pour les pays développés ou ceux en développement, a montré qu'un pays attire d'autant plus d'investissements étrangers que le stock d'investissement (local et étrangers) déjà existant soit important. En s'inspirant d'une étude réalisée par Georgy Csaki (1997), nous pouvons montrer que ce pouvoir d'attraction se pratique sur quatre types d'entreprises de différentes manières et pour différentes raisons:

1. Lorsque quelques grandes entreprises ayant une bonne réputation régionale ou notamment mondiale apparaissent, d'autres entreprises vont les suivre en toute confiance pour investir dans le même pays ou notamment, dans la même région. Le marché hongrois illustre cet exemple. En effet bon nombre de grandes multinationales existantes sur le marché hongrois telles que General Electric et General Motors ont réalisé des investissements conséquents.
2. Dans une approche pure de nouvelle économie géographique, les investissements attirent aussi leurs proches concurrents dans le même secteur lorsque ces derniers sentent qu'il y a des opportunités qui peuvent être exploitées et qu'ils sont si compétitifs pour vaincre cette concurrence. Il s'agit des entreprises qui attirent les entreprises permettant l'existence simultanée des différentes multinationales concurrentes. L'existence de coca-cola et de Pepsi-Cola sur les différents marchés de la région y compris le marché hongrois est un exemple frappant.
3. Les grands investisseurs internationaux peuvent aussi apporter avec eux leurs partenaires de services telles que surtout les banques, les assurances et les agences de publicités. A ce niveau, la Hongrie se démarque par la présence des principales banques et sociétés d'audit sur son marché.
4. Pour les secteurs manufacturiers, plusieurs multinationales peuvent influencer leurs fournisseurs pour venir investir sur le même marché qu'elles, s'ils ne trouvaient pas les fournisseurs convenables sur le marché hôte. Les investissements réalisés dans le secteur d'automobiles est un exemple frappant. On peut donner l'exemple des investisseurs constructeurs d'automobiles japonais aux Etats Unis. En effet, afin de contourner les règles relatives à l'utilisation d'un certain pourcentage de produits d'origine nationale, ils font venir avec eux des sociétés offrant ces inputs. Ce qui peut dynamiser l'investissement local conséquemment motivé pour produire et fournir ces différents produits aux multinationales présentes sur son marché local ou notamment sur le marché de toute la région. La Hongrie est un des pays ayant suivi cette stratégie et ayant réalisé, en la matière, plusieurs réussites.

Pour la Tunisie, ayant presque le même nombre d'habitants que la Hongrie, son marché ne parait pas présenter de réelles motivations pour les biens de consommation. Pour cela, les multinationales se limitent, souvent, à la production de produits intermédiaires, dans une approche de division internationale du processus de production, qui seront tournés, par la suite, vers l'exportation. Pour ce qui est de l'investissement intérieur, il n'est pas aussi dynamique pour constituer de réelles motivations pour les grandes multinationales, surtout, celles cherchant à porter la concurrence sur le marché local du pays hôte à travers des filiales relais produisant les mêmes biens que ceux de la société mère. En effet, il s'agit, dans la majorité des cas d'entreprises peu compétitives qui ont perdu ou en quête de perdre un avantage comparatif. Comme pour la firme de Vernon, en devenant standardisée, pendant la phase de déclin, l'entreprise motivée par la recherche de coûts les plus bas, va délocaliser sa production dans les pays en développement présentant l'avantage coût le plus important et va servir son marché local par les exportations à partir de ces pays. La Tunisie présente un cas important pour cet exemple. L'investissement local est aussi

formé par des petites et moyennes entreprises et soutenu par un secteur privé qui n'est pas assez dynamique pour assurer sa compétitivité au niveau international. Cette compétitivité doit être basée sur deux axes stratégiques importants à savoir l'élargissement de la base productive, afin de présenter une gamme diversifiée de produits et l'exploration de nouveaux marchés tel que, surtout, le marché africain proche et à fort potentiel de croissance.

En plus, les activités industrielles se limitent, souvent, à des activités de sous traitance qui n'incorporent pas un grand stock de connaissances. En effet, la majeure partie des IDE, à destination de la Tunisie, se limite aux secteurs traditionnels, ceux de pétrole, de l'immobilier, du tourisme ou aux opérations de privatisation et de concessions de services publics. Même les IDE qui ont été orientés vers le secteur industriel ont concerné, jusqu' à la fin des années 1990, le textile-habillement intensif en travail non qualifié et à faible valeur ajoutée. Or ce type d'IDE ne peut pas participer ni à la modernisation de ce secteur, ni à son internationalisation. Actuellement et durant les quinze premières années de ce millénaire, la Tunisie a concentré ses efforts d'attractivité sur des IDE mieux sophistiqués en technologie. Pour ce faire, le pays a beaucoup joué sur la formation de son capital humain en s'intéressant surtout à la formation universitaire massive de cadres moyens (techniciens supérieurs) dans tous les domaines. Ainsi, nous avons assisté, pour ces dernières années à un flux important d'IDE vers l'industrie mécanique et électrique. Ce qui a permis au secteur de redevancier les exportations du pays, dès déjà 2010.

Toutefois, malgré ce développement relatif, les flux d'IDE vers ce secteur restent modestes pour un gouvernement qui parle d'un secteur nettement ciblé par la politique d'attractivité. Ceci peut être expliqué, entre autre, par le ralentissement de l'investissement local. En effet, afin que son investissement intérieur devienne plus dynamique et participe à l'attractivité de grandes multinationales comme c'est le cas de la Hongrie, la Tunisie est invitée à améliorer encore sa compétitivité à travers la productivité des entreprises en passant du stade de l'économie tirée par le faible coût des facteurs de production à l'économie de l'efficience au sens de Porter. Or ce passage nécessite un rôle plus important de la part de l'Etat à travers l'investissement massif dans le capital humain. L'Etat, est invité encore à la construction d'une capacité innovatrice encourageant le secteur privé à prendre des initiatives importantes d'investissements. Ceci ne peut être rendu possible qu'à travers l'amélioration de la recherche par une collaboration plus étroite entre l'université et l'industrie, chose qui manque le pays jusqu' aux nos jours. C'est justement cet état de fait qui peut mener à son tour à ce que le pays puisse attirer de grandes entreprises compétitives, chose qui manque la Tunisie. En effet, malheureusement pour ce pays, en apportant des ressources et des technologies, ce sont ces entreprises multinationales qui ont contribué largement à la montée en gamme de la Hongrie dans les chaines de valeur régionales et internationales.

4.2 VARIETE DES STRATEGIES DES INVESTISSEURS ET EFFETS SUR LE MARCHE LOCAL

L'attractivité d'un territoire est sérieusement prise en compte lors de la décision d'investissement à l'étranger, mais elle ne constitue pas le critère déclencheur d'une telle opération, puisque cette alternative d'internationalisation naît au départ de la volonté des entreprises à étendre leurs activités à l'étranger ou à les déplacer.

Dans le cadre d'une stratégie horizontale, la multinationale s'installe en Hongrie à travers des filiales relais cherchant à porter la concurrence sur le marché local ainsi que celui de ses voisins. En effet, dans plusieurs secteurs, notamment celui de biens de consommation, le nouveau marché visé peut concerner le marché d'Europe Centrale et Orientale dans son ensemble.

Les IDE réalisés en Hongrie sont liés, aussi, à un objectif stratégique de la multinationale européenne. En effet, après l'ouverture accrue des pays asiatiques et l'accroissement de leurs exportations vers le vieux continent, elle cherche à accroitre sa compétitivité pour garder ses parts de marché. Ceci est rendu possible en délocalisant une grande partie de son potentiel productif vers l'Europe Centrale et Orientale. Ce qui va permettre aux pays d'Europe Occidentale, de réduire leurs coûts de production et d'améliorer leur niveau de compétitivité par rapport à la zone asiatique. D'ailleurs, dès le début, l'objectif lié à l'amélioration de la compétitivité par rapport à la région du Sud- Est asiatique et de celle de l'Amérique du Nord était l'un des principaux objectifs derniers l'élargissement de l'Europe Occidentale vers ces pays suite à leur désintégration de l'URSS en 1989.

Afin de s'adapter aux nouvelles conditions dictées par le progrès technologique, la dérèglementation financière et la libéralisation économique, les IDE peuvent prendre différentes formes. Globalement, nous pouvons parler de trois formes dominantes. Il s'agit de l'IDE ex nihilo ou greenfield à travers la création de nouvelles unités de production, l'acquisition d'entreprises déjà existantes et la coopération avec un partenaire local ou joint-venture.

Pour la Hongrie, nous avons remarqué que la forme dominante des IDE, hors privatisation, est l'IDE greenfield. Cette forme d'IDE entreprise par la multinationale peut être expliquée, entre autre, par l'importance de l'investissement intérieur, notamment celui étranger entrepris antérieurement sous d'autres formes. Il s'agit, des acquisitions réalisées grâce aux opérations de privatisation qui ont marqué la période 1989-1995 et qui ont donné des résultats importants. Ajoutés à un environnement légal et économique favorables, plusieurs multinationales à niveau de compétitivité élevé (General Electrics,

Audi, Nokia, Philips, T-Com, Suzuki) ont décidé de créer de nouvelles unités de production sur le marché hongrois. Cet investissement se caractérise par l'économie dans les coûts de transaction en transposant directement la technologie. De plus, l'implantation des multinationales sur le marché hongrois est liée à la recherche de gains d'efficacité en abaissant les coûts de transaction et de production grâce à une meilleure utilisation des possibilités offertes par ce pays. Ceci permet à la multinationale de réaliser des économies d'échelle importantes.

Contrairement, aux opérations d'acquisition qui se démarquent par le licenciement des ouvriers, les IDE greenfield sont générateurs d'emploi à travers la création de nouveaux postes ou l'emploi indirect à travers les opérations de sous traitance qui l'accompagnent. La Hongrie a bénéficié de ce type d'IDE dans la création de postes d'emploi et dans l'absorption des chômeurs suite à la restructuration de son économie qui s'est accompagnée avec des libérations importantes d'emploi des secteurs de l'agriculture et de l'industrie au début de la transition économique. En effet, entre 1990 et 2000, les statistiques données par l'OCDE pour l'ensemble des PECO ont montré que ces secteurs ont perdu 9 millions postes d'emploi. Aujourd'hui, en plus de l'importance des opérations d'émigration des travailleurs hongrois vers UE, les IDE greenfield ont largement participé dans la baisse du taux de chômage en Hongrie le plus bas jamais enregistré depuis la transition de 1989, puisqu'il est passé sous la barre des 5 % en 2017 (en 2015, ce taux était de 6,8% (Commission européenne (2015)).

Cette forme d'IDE est caractérisée, aussi, par un stock technologique et un savoir managérial importants provenant de la société mère. Ils sont orientés vers le marché international en exportant des produits de haute technologie. C'est le cas de la Hongrie qui, contrairement à la Tunisie, se spécialise dans la production et l'exportation des biens à forte valeur ajoutée tels que les véhicules de luxe et les technologies de l'information.

Les choses en Tunisie sont totalement différentes. Les firmes investissant dans ce pays adoptent souvent deux stratégies: des firmes off-shore tournées, totalement, vers l'exportation et des firmes produisant pour le marché local. Pour les firmes adoptant une stratégie verticale, elles n'ont pas, souvent, de relations avec le tissu industriel existant. Il s'agit, tout simplement, de firmes européennes appartenant à des pays de grande taille, cherchant la faiblesse des coûts de production, dans une logique de division internationale du processus de production. En effet, selon Markusen (1997 et 2002), un IDE vertical prévaudra quand les pays investisseur et investi sont asymétriques dans la taille ou les prix des facteurs et quand le pays investi présente des avantages coûts de localisation importants. Il s'agit, en effet, d'une stratégie verticale ou de délocalisation appelée aussi de rationalisation, de minimisation des coûts qui est fondée sur l'inégalité de développement et qui est appliquée d'une façon unilatérale (non pas croisée) Nord-Sud. Cette inégalité de développement donne naissance à des IDE qui sont motivés par une différenciation dans les dotations factorielles. Ainsi, le choix de cette stratégie dépend, en plus de la fonction de production de la firme, des dotations factorielles du pays d'accueil. La Tunisie illustre par excellence ce cas. En effet, dès 1972 et jusqu'à la fin des années 1990, avec l'intensité de la concurrence des pays asiatiques, la Tunisie consciente de l'étroitesse de son marché, n'a pas cessé de jouer sur ce facteur et de mener une politique d'attractivité basée sur les coûts faibles de la main d'œuvre. En effet, c'est le facteur main d'œuvre « bon marché » qui a fait du secteur textile, jusqu' à le milieu de la dernière décennie le secteur le plus récepteur de l'IDE et le secteur clé de l'économie en présentant à lui seul 22 % des exportations tunisiennes en 2005. Aujourd'hui, la Tunisie, dès la fin des accords multifibres, avec le recul des industries de textile et habillement qui n'ont représenté en 2015 que 6,8% de l'ensemble des IDE dans le secteur manufacturier (APIET), a travaillé sur l'amélioration de la qualité de la formation de son capital humain. Ceci a permis au pays d'attirer des flux d'IDE, que bien que modestes, sont en perpétuelle évolution dans les domaines électriques et mécaniques contenant un volume technologique important. C'est, d'ailleurs, pour cette raison que nous avons assisté à un recul des exportations relatives aux produits textile habillement qui ont laissé leur place aux produits électriques et mécaniques. En effet, en 2015, le secteur des industries mécaniques et électriques se positionne en premier rang des secteurs exportateurs en Tunisie avec 37,4% des exportations de biens.

Ayant une taille petite ou moyenne par rapport à d'autres entreprises opérant dans le même domaine d'activité et originaires souvent de pays européens proches, les firmes produisant pour le marché local sont des joint-ventures opérant dans plusieurs secteurs tels que le textile, les industries électriques et mécaniques ainsi que l'agroalimentaire. Il s'agit, généralement, de firmes cherchant à améliorer rapidement une position commerciale défavorable ou menacée. Ainsi, une entreprise, sans être essentiellement non efficace, se trouve en position de faiblesse relative ou se heurte à quelques difficultés sur son marché d'origine, serait prête à prendre des décisions d'implantation à l'étranger afin d'améliorer sa position globale. L'entrée sur le marché local est favorisée souvent par une concurrence faible. Il s'agit, généralement, d'ateliers délocalisés ou d'activités de sous traitance de bout de chaine qui n'exigent qu'une main d'œuvre intensive en travail non qualifiée et avec un service d'entretien et un service administratif limité. Cet investissement est sans engagement important de fonds et de compétences avec un contenu technologique modeste. De même, pour leurs partenaires nationaux. Il s'agit d'IDE touchant plusieurs secteurs et qui sont le fait de petites et moyennes entreprises, voire d'entreprises individuelles.

5 EFFETS DES IDE SUR LES ÉCONOMIES LOCALES

5.1 LES IDE: UN FACTEUR DE RESTRUCTURATION CLE EN HONGRIE ET EN TUNISIE

La Hongrie a bénéficié pendant ces dernières années d'un changement d'orientation des IDE des secteurs de textile à faible valeur ajoutée et de l'industrie alimentaire aux secteurs des véhicules de luxe, du tourisme, des énergies renouvelables et des technologies de l'information. En effet, après l'effondrement des systèmes productifs sur la période 1990-1993, les IDE à destination des PECO, spécialement en Hongrie, ont participé, d'une part à l'émergence de nouvelles spécialisations industrielles et d'autre part, au développement du secteur des services qui ont été pratiquement négligés pendant la période communiste. Ainsi, nous avons assisté à une insertion de l'économie hongroise dans le système productif européen. Cette insertion s'est accompagnée d'une convergence progressive des salaires qui ont accompagné les gains de productivité importants réalisés dans le pays.

Pendant les quinze dernières années, d'après l'Eurostat (2016), autour de 60% des IDE reçus se sont orientés vers le secteur des services (banques, assurance, hôtellerie, grande distribution). Le secteur manufacturier accapare autour de 30% dont la répartition, selon les avis des experts, se fait à moitié entre les biens consommés par le marché local et les biens destinés à l'exportation vers l'Union Européenne (UE) et le reste du monde. La majeure partie des IDE a été attirée par le secteur des équipements de transport, des équipements électriques et de l'industrie pharmaceutique. Toutefois, c'est le secteur des services qui a représenté le principal moteur de création d'emplois et qui a participé à compenser en partie les pertes de postes d'emploi enregistrées dans les secteurs d'agriculture et en partie dans l'industrie, suite à cette restructuration. Aujourd'hui, le secteur agricole, force dominante de l'économie du pays pendant de nombreuses années, représente uniquement 4,4% du PIB et emploie environ 4,3% de la population active (banque nationale de Hongrie (2015)).

Le secteur industriel, selon la même source, compte pour 30,5% du PIB du pays et emploie 30% de la population active.

Le tertiaire contribue à près des deux tiers du PIB (65,1%) et emploie près de 66% de la main d'œuvre. Ce transfert d'emploi du secteur primaire vers le secondaire et surtout le tertiaire se fait progressivement, à fur et à mesure, que le pays sortant d'une longue période de communisme, devienne de plus en plus mature. Ce transfert a aussi pour conséquence le rattrapage de productivité de l'ensemble de l'économie de la Hongrie, qui est devenue, aujourd'hui et après moins d'une quinzaine d'années de son adhésion à l'UE, un pays développé à part entière. En effet, les écarts de productivité avec l'UE 15 se sont réduits progressivement et se sont rapprochés aux niveaux enregistrés dans ses voisins européens des plus développés dans le monde. Aujourd'hui, l'écart global de productivité ne dépasse pas environ 15% de celui enregistré en Allemagne (OCDE (2016)). Ce rattrapage de productivité est expliqué, en grande partie, par le rattrapage enregistré dans le secteur industriel investi par les capitaux étrangers. En effet, durant les quinze dernières années, ce secteur a participé avec plus de 20% dans l'amélioration de la productivité de l'ensemble de l'économie hongroise.

Les avis d'experts ont montré aussi, que ce sont les secteurs qui ont reçu, relativement, plus d'IDE qui ont réalisé plus de performances en matière d'exportation. De plus, les IDE ont participé nettement à la stimulation du commerce intra-branche entre ce pays et l'UE. Ce qui témoigne d'une intégration croissante et d'une convergence réussie entre les deux systèmes productifs se traduisant, à son tour, par une nette convergence entre les salaires de l'UE et ceux hongrois et qui ont été 80% moins bas jusqu' à le début des années 2000 (Dupuch (2004)).

La structure de commerce a connu aussi des modifications profondes en faveur de quelques branches au détriment des autres. Il s'agit, notamment, des équipements électriques et électroniques, de l'automobile et de la mécanique. Ces branches ont été distinguées par leurs attractivités intenses aux IDE. Ceci montre une réelle tendance à rendre de plus en plus horizontale la division du travail entre la Hongrie et les pays les plus développés de l'UE. On assiste, ainsi, à un développement de commerce interbranche qui a été rendu possible grâce à des multinationales hautement compétitives participant largement dans la ré-industrialisation rapide et réussie de ce pays.

Le rattrapage de la productivité ainsi que la spécialisation du pays ont conduit à l'amélioration de la rémunération des facteurs de production qui a permis à son tour une augmentation de l'épargne se traduisant par la dynamisation de l'investissement local et étranger. La hausse des salaires a conduit, également, à une augmentation et une dynamisation de la demande intérieure.

Pour la Tunisie, nous avons remarqué, dès le début des années 1970 et jusqu' à la fin des années 1990, un mouvement lent de réallocation des facteurs de production du secteur textile intensif en main d'œuvre non qualifiée vers d'autres secteurs plus sophistiqués en technologie. Toutefois, l'accroissement de la concurrence des pays asiatiques en plus des PECO, suite au démantèlement des accords multifibres en Janvier 2005, sur les marchés nationaux et surtout le marché européen constituant le principal client de la Tunisie a incité le pays à restructurer son appareil productif. Cette crainte de concurrence, a été

mentionnée dans le rapport « alarmiste » de la FEMISE dés, déjà, 2003. Selon ce rapport, la compétitivité du secteur vital de l'économie tunisienne serait menacée par l'augmentation des coûts salariaux. Toutefois, cette augmentation ne serait pas compensée par un accroissement de la productivité du travail. C'est, d'ailleurs, dans ce contexte que la banque mondiale a recommandé, en 2004, de chercher à mener, en plus, de l'ouverture commerciale, d'autres politiques accompagnatrices. En effet, bien que la politique d'ouverture commerciale a pu contribuer à la croissance et au retour de solvabilité du pays, elle reste insuffisante à elle seule, pour constituer un réel motif pour les multinationales.

A ce niveau, la Tunisie a mené un processus d'amélioration et de renforcement de la compétitivité qui s'est articulé autour du concept de « mise à niveau de l'économie tunisienne » après la signature de l'accord de libre-échange en 1995. Ce programme a été inspiré et soutenu par d'anciens dirigeants portugais qui ont mené le même processus lors de leur intégration à l'UE en 1986. Il avait pour objectif d'amener le niveau de l'industrie tunisienne aux standards internationaux en termes de qualité, de productivité et de compétitivité. Il ne se limite pas à une simple restructuration des entreprises qui seraient menacées par la concurrence acerbe des multinationales européennes mais s'étend à la globalité de l'économie afin de favoriser sa mutation et par conséquent, l'émergence de nouveaux secteurs porteurs de croissance et de création d'emplois. Ceci pourrait être possible à travers le développement de l'environnement de l'entreprise en proposant une infrastructure développée à caractéristiques internationales. Il s'agit, en plus, de l'aménagement des zones industrielles pour qu'elles soient plus modernes. Bien que 50% des entreprises industrielles de plus de dix salariés et 25% du total des entreprises industrielles avaient adhéré, l'évaluation du programme en 2003 n'a pas débouché sur de grands résultats.

Le début de ce millénaire était caractérisé par un pas plus efficace en matière de recomposition structurelle de l'appareil productif marqué par un net déclin du textile - habillement. Nous avons, ainsi, assisté à l'apparition et au développement de nouvelles branches de l'industrie telles que notamment, les composantes d'automobiles, l'industrie électronique et mécanique qui ont réalisé beaucoup de performances, pendant ces dernières années, leur permettant de redevancier les exportations de ce pays dès 2010. Il s'agit, donc, des branches à fort potentiel qui réalisent un taux de croissance moyen de 13% et qui ont créé 130 000 postes d'emploi, soit 26,4% (APIET (2016)). Toutefois, la productivité globale des facteurs n'a pas suivi et a resté faible, par rapport aux pays à revenu intermédiaire tel que la Roumanie et même le Maroc. En effet, même, si son taux de croissance annuel a évolué de 1,2% sur la période 2000-2005 à 1,5% sur la période 2006-2010 (Banque Africaine de Développement (BAD) (2015)), cette évolution n'est tirée que par une baisse du taux de change effectif réel à cause d'une plus grande ouverture commerciale et une détérioration des termes de l'échange. Il y a, aussi, d'autres secteurs porteurs tels que surtout l'agro-alimentaire avec 1064 entreprises dont 199 sont totalement exportatrices et 166 sont à participation étrangères (APIET (2016)). En plus, nous avons remarqué un développement notable dans les secteurs des services, surtout, ceux médicaux et de télécommunication (surtout les centres d'appels). Récemment, nous avons assisté à une nouvelle orientation vers certaines activités de service à l'industrie et aux entreprises tels que les centres d'appels et les sociétés de prestations informatiques. Désormais, malgré leur importance, ces effets en matière de réallocation des facteurs du secteur textile vers les autres secteurs industriels restent insuffisants, si on les compare, surtout, avec les pays asiatiques. En effet, à l'inverse des premiers dragons du Sud – Est asiatique (Corée, Taiwan, Hongkong et Singapour) qui ont redéployé leur main d'œuvre du textile vers l'électronique quand la concurrence d'autres pays d'Asie s'est manifestée (Malaisie, Indonésie, Thaïlande puis le Vietnam et la Chine), la Tunisie ne dispose pas suffisamment d'autres secteurs industriels assez dynamiques pour absorber les emplois excédentaires du secteur textile. En effet, selon le rapport de la BAD (2015), et contrairement à la Hongrie, la Tunisie souffre d'une dépendance persistante de son économie vis-à-vis de la production à bas prix et des secteurs d'exportation à faible valeur ajoutée qui rendent son économie peu compétitive et vulnérable. Selon, le même rapport, la sophistication des exportations tunisiennes n'a pas évolué depuis 1960. Ainsi, on ne peut pas parler d'une transformation structurelle réussie de l'économie tunisienne, tant que la production n'est pas encore orientée vers des secteurs plus productifs et à plus haute valeur ajoutée en passant d'une économie de sous- traitance à une économie de co-traitance. Les exportations, doivent aussi, contribuer d'une manière substantielle à la croissance. De même pour le secteur des services qui doit être, comme pour le cas de la Hongrie, plus dynamique et plus efficace pour pouvoir participer à la croissance économique. Il s'agit, surtout, de quelques secteurs stratégiques tels que la santé, le transport aérien et les télécommunications.

5.2 EFFETS DES IDE SUR LE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

Les firmes multinationales constituent un vecteur de transfert technologique très important qui représente le maillon fort des retombées des IDE dans les économies des pays d'accueil. Ces effets peuvent être véhiculés, entre autre, à travers ce que Blomstrom (1989) appelle externalités positives ou spillovers qui opèrent selon Toufik et Bouoiyour (2002) à travers la rotation des personnels qualifiés, la relation de sous-traitance ou la réduction des inefficacités productives grâce à la concurrence. Ainsi, en entrant sur le marché local, ces retombées se produisent si les firmes locales bénéficient de meilleures connaissances de production, de gestion ou d'assistance technique relatives aux multinationales. Les IDE peuvent aussi faciliter le transfert technologique en élevant le niveau de qualification du facteur travail Azeroual (2016). Toutefois la capacité des entreprises

locales à assimiler ces technologies et à réduire leurs retards par rapport à celles étrangères dépend, selon Abramovitz (1991) de deux facteurs à savoir la capacité sociale ou d'absorption technologique et l'opportunité. Il s'agit, surtout, de l'importance de la capacité d'absorption qui se définit selon Narula et Marin (2003), comme l'habilitée d'internaliser les connaissances créées par autrui et de les adapter à ses propres usages et procédés. Elle permet de s'adapter au nouvel environnement et de gérer les changements technologiques (Dahoui et Samoud (2016)).

Elle dépend, cependant, selon Antenolli (1992), en plus de la maitrise du matériel d'une bonne maitrise des facteurs sociaux de production et de la dotation en structures de connaissances favorisant l'absorption des connaissances externes et le développement de la complémentarité entre le stock de connaissances externes et celui de connaissances internes.

La capacité d'absorption des firmes domestiques parait donc être une condition déterminante pour bénéficier des effets importants des spillovers. Or ceci ne peut pas avoir lieu en l'absence des liens entre les firmes étrangères investisseuses et celles locales. La faible absorption de l'économie d'accueil peut constituer par ailleurs un grand handicap. En effet, selon la CNUCED (2005): « pour parvenir à un développement économique durable, il ne suffit pas d'ouvrir la porte et d'attendre l'arrivée des nouvelles techniques. Il faut aussi que les entreprises nationales s'emploient sans relâche à améliorer leur niveau technologique et que les pouvoirs publics les soutiennent» (2005, p22).

Le capital humain parait, aussi, être une composante essentielle de la capacité d'absorption d'une économie. En effet, plusieurs économistes tel que De Gregorio et Lee (1995) ou notamment, Blomostrom et Kokko (1998) n'ont pas manqué d'insister sur l'importance de l'existence d'un certain niveau en termes de capacité d'apprentissage ou d'aptitudes technologiques afin d'assimiler la nouvelle technologie apportée par les firmes étrangères.

De même, Borensztein, De Gregorio et Lee (1998) ont montré que le stock du capital humain joue un rôle primordial dans la détermination de l'ampleur de l'effet des IDE sur la croissance. Toutefois, cet effet ne peut être positif que si le niveau de scolarisation de la population dépasse un certain seuil. Maingy (2004) est allé plus loin jusqu' à considérer que pour les pays où le niveau de capital humain est très faible, les effets des IDE sont négatifs. En effet, la disposition du pays d'accueil d'une main d'œuvre qualifiée peut faciliter et accélérer l'adoption des nouvelles technologies et promouvoir l'utilisation techniquement efficace des facteurs de production (Dhaoui et Samoud (2016)).

Pour le cas de la Hongrie, il a été montré que la capacité d'absorption des entreprises locales mesurée par le capital humain ou l'investissement en recherche et développement ne favorise pas d'une manière assez significative les externalités technologiques des IDE (Cakovic et Levine (2005) et Jude (2012)). Toutefois, c'est la composante accumulation du capital fixe engendrée par les investissements greenfield, surtout en période de transition, qui a favorisé ces externalités qui sont devenues de plus en plus importantes dans la période de post-transition. En effet, les IDE ont joué un rôle capital dans la transition vers une économie de marché puisqu' ils constituent une source importante de modernisation du capital et son accumulation qui, ajoutée à la technologie importée, ont permis au pays de s'intégrer dans l'économie mondiale en réduisant les décalages avec l'Europe occidentale et de rejoindre le peloton des pays développés en un temps assez court.

Les IDE ont contribué aussi largement à l'amélioration de la productivité des facteurs (Neuhaus (2005), Campos et Kinoshita (2002)). Toutefois bien que cet effet positif est incontestable, son ampleur est conditionnée par la présence de certaines caractéristiques locales telles que la recherche et développement ou notamment le décalage technologique qui a marqué, surtout, le début de la période de transition. En effet, ce décalage technologique ajouté à des efforts considérables d'innovation ont permis au pays, comme d'ailleurs la majorité des pays de PECO de profiter plus des externalités technologiques des IDE. Ainsi, « en cumulant l'effet des IDE sur l'accumulation de capital avec celui sur le progrès technique, l'impact sur la croissance est toujours positif. Cela confirme que la composante dominante dans la relation IDE-croissance est le transfert de technologie » (Jude (2012), p183).

Pour le cas de la Tunisie, par contre, il a été montré quasi unanimement par les quelques études économétriques en la matière (Bouoiyour et Toufik (2002, 2007), Baccouche, Bouoiyour et Mouley (2011) et Dhaoui et Samoud (2016)) que les possibilités d'externalités technologiques ou spillovers liées aux IDE sont très limitées. Ceci est expliqué essentiellement par la faible capacité d'absorption des entreprises locales. Ce qui peut réduire voir freiner l'effet des IDE sur l'amélioration de la productivité globale des facteurs de production. Ainsi, la Tunisie ne pourrait améliorer la capacité d'absorption de ses entreprises qu'en développant son capital humain ou notamment en investissant en recherche et développement. A ce niveau, il est important de signaler que le pays, afin de réaliser ses objectifs en matière de transfert technologiques, ne devrait pas essayer d'imposer des contraintes aux multinationales tel que l'association avec un partenaire local qui peuvent changer leurs objectifs et par la suite les résultats pourraient être inversés. En effet, il faut toujours se rappeler que les multinationales investissent pour réaliser leurs objectifs stratégiques et non pas les objectifs des pays hôtes. Toutefois, le gain pour les deux parties pourrait être possible si les objectifs aient des intérêts communs et que la réalisation des uns n'empêche pas la

réalisation des autres. C'est justement, l'identification de ces intérêts qui devraient constituer la préoccupation majeure des gouvernements des pays d'accueil.

Grosso modo, nous pouvons dire qu'aujourd 'hui, la relation entre les IDE et la croissance, en Hongrie, a évolué vers une causalité à double sens qui montre la maturation de l'économie hongroise. Ce qui a permis une transformation importante dans les stratégies des multinationales d'une stratégie de l'efficiency-seeking fondée sur le différentiel de coûts de production et qui a marqué la période de transition à une stratégie de market-seeking caractérisée par des perspectives de marchés dépassant largement les avantages relatifs aux faibles coûts de la main d'œuvre. Toutefois, la Tunisie reste encore, depuis déjà les années 1970, l'esclave de sa politique d'attractivité basée sur la faiblesse des coûts de la main d'œuvre et n'a pas pu évoluer dans la chaine de valeur internationale à cause, entre autres, du faible apport technologique des IDE.

6 CONCLUSION

En plus d'une description quantitative concernant l'évolution chiffrée des IDE, leur forme, leur ventilation sectorielle et leurs pays d'origine, cette étude comparative a, aussi, touché la politique d'attractivité comparée de la Hongrie et de la Tunisie. A ce niveau, l'accent a été mis sur l'importance de l'intégration des deux économies dans l'économie internationale à travers la porte de l'UE. Puis, dans une troisième partie, nous avons présenté les caractéristiques qualitatives des IDE, à travers, notamment, les motivations des investisseurs ainsi que la variété de leur stratégie. Enfin, l'accent a été mis sur les retombées des IDE à travers leur importance dans la restructuration économique ou notamment à travers le transfert technologique dans les deux pays. Nous avons constaté, à ce niveau, que les IDE reçus par la Hongrie qui ont participé pendant la première période de la transition au remboursement de sa dette, ont pu par la suite participer énormément dans la convergence économique entre ce pays et les pays européens des plus développés. Pour la Tunisie, cependant, nous avons remarqué que dès 1972, le début de l'entrée des IDE vers ce pays, les motivations restent les mêmes, exploiter un bas salaire pour effectuer des opérations de sous traitance sans contenu technologique important afin de produire des biens qui seront tournés par la suite vers l'exportation. Nous avons remarqué aussi que le système offshore sur lequel, le pays a basé sa politique d'attractivité dès 1972 est épuisé a un point où le pays est inscrit sur la liste noire des juridictions fiscalement non-coopératives en décembre 2017. Les mesures relatives à ce système avaient également pour but d'introduire le pays dans la "chaîne de valeur mondiale". Malheureusement, la Tunisie n'a pas réussi à mettre en avant ses compétences et est restée piégée en bas de cette chaîne.

Grosso modo, nous pouvons dire, à travers ce travail, que bien que comparables, de point de vue volonté pour l'attractivité des IDE, les deux pays sont largement incomparables de point de vue efficacité. Ce constat reste correct tant que les flux d'IDE reçus par les deux pays sont loin d'être comparés de point de vue quantité ou, notamment, de point de vue qualité. L'explication de ces différences énormes trouve réponse dans la totalité de ce travail. En effet, il ne suffit pas d'énumérer les avantages offerts par un site mais il faut que ce site intéresse, d'abord, une multinationale. Désormais, ces multinationales cherchent toujours à maintenir, voire, renforcer un niveau de compétitivité, déjà élevé. Or ceci ne peut se réaliser qu'à travers un marché dynamique à pleine croissance quantitativement et qualitativement. Comme dans la Hongrie, le secteur privé doit jouer son rôle dans la dynamisation de l'économie et doit participer à sa mutation d'une économie tirée par le faible coût des facteurs de production à une économie dynamique d'efficience au sens de Porter tirée par l'innovation et les services qui devraient être les sources principales de l'avantage comparatif. Tant que cet objectif n'est pas atteint, on voit mal comment peut-on parler, encore, d'une politique d'attractivité réussie adoptée par la Tunisie. Le passage à une économie d'efficience nécessite une modernisation du système productif à travers des efforts considérables dans la recherche et développement. En effet, pour profiter au maximum des externalités positives des IDE notamment celle relative au transfert technologique, il faut avoir une main d'œuvre bien formée pour pouvoir assimiler ces connaissances.

Aujourd'hui dans cette ère de concurrence énorme des sites pour l'attractivité des IDE, la Tunisie, si elle veut rester dans la course doit cesser de jouer le rôle de pourvoyeurs de main d'œuvre non qualifiée et doit développer un savoir-faire capable de rendre disponible une main d'œuvre qualifiée dans un environnement productif et efficace, comme c'est d'ailleurs le cas de la Hongrie.

REFERENCES

[1] Abramovitz (1991): «The postwar productivity spurt and slowdown factors of potential and realisation», in OCDE / Technology and productivity / The Callenge for Economic Policy / Paris / OCDE.
[2] Agence de Promotion de l'Investissement Exterieur en Tunisie (2016): « Rapport des IDE 2015 et perspectives 2016».
[3] Agence de Promotion des IDE en Hongrie (2016).
[4] Alaya. M, Chenaf. D et Rougier. E (2007): « Politique d'attractivité des IDE et dynamique de croissance et de convergence dans les PSEM», Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée.

[5] Ambassade de France en Hongrie (2014, 2015,2016): «IDE en Hongrie», Service économique de Budapest.
[6] Andreff.W (2003): « Les multinationales globales», Edition la découverte, Paris ».
[7] Anima Investment Network (2009): « Investissement direct étranger vers les pays Med en 2008 face à la crise«, Etude n°3, Mars 2009.
[8] Antonelli. C (1993): «Externalities and complementarities in the communications dynmics», International Journal of Industrial Organisation; n°11.
[9] Annales de mines (2004): « Les IDE, un facteur crucial de l'insertion des PECO dans l'économie européenne. ».
[10] Augier. P et Gasiorek. M (2000): « Trade liberalization between the southern Mediterranean and the EU: the sectoralimpact», papier présenté à la conference FEMISE, Marseille, Février 2000.
[11] Ayachi. F (2005): « Stratégies des firmes multinationales, déterminants des IDE et intégration euro-méditerranéenne », Centre de Publication Universitaire, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis (FSEG).
[12] Baccouche. R, Bouoiyour. J et Mouley. S (2011): « Interaction entre IDE, productivité et capital humain: cas des industries manufacturières tunisiennes», Document de travail CATT, n° 12, juillet.
[13] Bach. D (2010): « Europe, Afrique: le régionalisme sans co-propriété », Paris 2010.
[14] Banque Africaine de Développement (2017): « Facteurs déterminants des IDE en Afrique», document de travail n 271, Juin 2017.
[15] Banque Africaine de développement (2015): « Document de stratégie de pays intérimaire».
[16] Banque Africaine de développement (2015): « L'IDE améliore-t-il le bien-être des populations dans les pays de l'Afrique du Nord ?«, Document du travail: Série sur les notes de politiques en Afrique du Nord.
[17] Banque centrale de la Tunisie.
[18] Banque Mondiale (2005): « Un meilleur climat d'investissement pour tous«, Rapport sur le développement dans le monde, Washington.
[19] Banque mondiale (2015): « Modernisation de la gestion des frontières«, Washington, Etats-Unis.
[20] Banque mondiale, Doing Business (2017): « Facilités administratives en termes de création d'entreprises», Classement mondial des pays.
[21] Banque mondiale, Doing Business (2017): « Comparaison internationale de la protection des investisseurs».
[22] Banque mondiale, Doing Business (2017): « Comparaison internationale de la fiscalité des entreprises».
[23] Banque mondiale, Doing Business (2017).
[24] Barbet. P (2009): « Examen des politiques commerciales et des différends impliquant les PSEM, membres de l'OMC«, Enjeux et impacts de l'OMC.
[25] Basu. A et Srinivasan. K (2002): « FDI in Africa: Some cases studies», IMF Working Paper, March 2002.
[26] Bechouche. P (2006): « Analyse géographique de l'intégration régionale euro-méditerranéenne», Colloque EMMA, 26 et 27 Mai 2006.
[27] Belattaf. M (2012): « Les opportunités des marchés des PECO: cas de l'environnement, porteur pour les éco-industries et l'innovation.», Marché et organisations 2012/2 (N° 16), p. 103-128.
[28] Benassy. A, Fontagné. L et Lahreche. A (2001): « Stratégie de change et attractivité des IDE euro-méditerranéens«, Novembre 2001.
[29] Biglaiser. G et Derouen. K (2006): « Economic reforms and inflows of foreign direct investment in Latin America«, Latin American Research Review Vol 41, N 1, pp 51-75.
[30] Blomstrom.M et Kokko.A (1997): «Regional Integration and Foreign Direct Investment: A conceptual framework and three cases«, PR working papers, World Bank 1997.
[31] Borensztein. D., De Gregorio, J. et Lee. J. W. (1998): « How does foreign direct, investment affect Economic Growth?«, Journal of International Economics, N°45, pp: 115-135.
[32] Boudier. F et Rizopoulos.Y: «Tendances et caractéristiques des IDE dans les pays balkaniques», Revue d'études comparatives Est-Ouest.
[33] Bouklia. H et Zatla. N (2001): « L'IDE dans le bassin méditerranéen: ses déterminants et son effet sur la croissance économique«, Seconde Conférence du FEMISE, Marseille.
[34] Bouoiyour. J (2003): «The determinants factors of FDI in Morocco», Economic Research Forum, The World Bank, Marrakech.
[35] Bouoiyour. J. et Toufik, S. (2002): « Interaction entre investissements directs étrangers, productivité et.
[36] capital humain: cas des industries manufacturières marocaines», Working Paper / Septembre 2002.
[37] Bouoiyour. J. et Toufik, S. (2007): «L'impact des IDE et du capital humain sur la productivité des industries manufacturières marocaines«, Région et Développement, N° 25, pp: 177-191.
[38] Calcagno. A (2010): « Intégration régionale et traités bilatéraux«, Economiste à la CNUCED.
[39] Castilho. M et Zignago. S (2000): « Commerce et IDE dans un cadre de régionalisation: le cas du Mercosur », Revue économique, vol 51, N°3.

[40] CEPII (2017): « Base de données sur l'économie mondiale», Editions La Découverte, Collection Repères, Paris 2017.
[41] Chenaf. D et Rougier. E (2007): « Attractivité comparée des territoires marocains et tunisiens au regard des IDE», Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée.
[42] Cheriet. F et Tozanli. S (2007): « Essai de construction d'un score d'attractivité sectorielle des IDE: cas du secteur agroalimentaire du Sud et de l'Est méditerranéens. », Economie rurale n 302 (2007).
[43] CNUCED (2001): « Vers de nouvelles relations interentreprises», World investment Report, Nation Unis Genève.
[44] CNUCED (2002a): « Transnational Corporation and Export Competitiveness», WORLD Development Report: New York and Geneva, United Nations.
[45] CNUCED (2003): « les politiques d'IDE et le développement: Perspectives nationales et internationales », World Investment Report.
[46] CNUCED (2005): « Rapport sur l'Investissement dans le monde: Les Sociétés Transnationales et l'internationalisation de la Recherche-Développement, Vue d'ensemble, Nations Unies, New York et Genève.
[47] CNUCED (2005c): « Le développement économique en Afrique: Repenser le rôle de l'investissement étranger direct«, Nation Unies, New York et Genève.
[48] CNUCED (2006): « l'IED en provenance des pays en développement ou en transition: Incidences sur le développement«, rapport sur l'investissement dans le monde, Nation Unies New York, et Genève.
[49] CNUCED (2007a): « mondialisation et développement: perspectives et enjeux«, Rapport du secrétaire général de la CNUCED à douzième session de la conférence des nations Unies sur le commerce et le développement, TD /413, 4 Juillet.
[50] CNUCED (2015): « L'ouverture des commerces de biens et services, annuel, 1980-2011 », Statistiques de la CNUCED XXI.
[51] CNUCED (2015): « Flux entrants et sortants d'investissement étranger direct», annuel, 1970-2011», Repères et vue d'ensemble.
[52] CNUCED (2018): « Rapport sur l'investissement dans le monde».
[53] Commission Européenne (2015): « Public Procurement Indicators», 2015.
[54] Conference Board (2017): « Evolution de la productivité horaire du travail».
[55] Csai. G et Lapparent. D (1997): « L'investissement Direct Etranger en Hongrie», Revue d'études comparatives Est-Ouest, Vol.28, 1997, n 2, pp 39-69.
[56] De Gregorio J, et Lee J. W, (1995): « Haw Daes Foreign Direct Investment affect economic growth«, NBER Working Paper, N°5057.
[57] Dhaoui. S et Samoud. I (2016): « IDE et transfert de technologie: cas des industries manufacturières tunisiennes», Institut tunisien de la compétitivité et des études quantitatives, 2016.
[58] Dupuch. S (2004): «Les IDE dans les nouveaux pays adhérents à l'UE», Centre d'économies de l'université Paris Nord. Revue Région et Développement N20, 2004.
[59] Eurostat (2015): « Taxation Trends in the European Union».
[60] Eurostat (2016): « 15 premiers aéroports de l'UE (28)«, Données 2015.
[61] Eurostat (2016): « Densité des infrastructures de Transport Terrestre», Données 2015.
[62] Hanson. G, Mataloni. R and Slaughter. A (2006): « Vertical production Networks in multinational Firms», Review of Economics and Statistics, 87 (4): 664-678.
[63] Henriot. A (2002): «Prospects of the location of industrial activities after the EU elargissement», Working Paper COE-CCIP Paris).
[64] Issaoui. K (2002): « L'attractivité des pays en développement pour les IDE: étude comparative des pays du Sud de la Méditerranée», Annuaire de l'Afrique du Nord, tome XL, 2002, CNRS Editions.
[65] Jude. C (2012): « IDE, transfert de technologie et croissance économique en Europe Centrale et Orientale.«, Thèse de doctorat (2012).
[66] Krugman. P (1991): « Geography and Trade», MIT Press, Cambridge.
[67] Levasseur. S (2002): « IDE et stratégies des entreprises multinationales.«, Département des Etudes de l OFCE 2012.
[68] Mainguy (2004): «L'impact des investissements directs étrangers sur les économies en développement».
[69] Revue Région et Développement, N°20-2004, pp: 71.
[70] Markusen. J (2002): « multinational Firms and The theory of international trade. », Cambridge: MIT Press, 2002.
[71] Markusen. J and Markus. K (1999): « Discrimination among alternative theories of FDI», NBER Working Paper 7164.
[72] Narula. R and Marin. A (2003): «FDI Spillovers, Absorptive Capacities and Human Capital Development.
[73] Evidence from Argentina», MERIT Research Memorandum 2003-016.
[74] OCDE (2016): « Investissement dans les technologies de l'information et de communications».
[75] OCDE (2016): « Etudes économiques de l'OCDE: Hongrie», Synthèses.
[76] OCDE (2016): « Profil statistique par pays: Hongrie 2016», Tableaux clés de l'OCDE.
[77] OCDE (2016): « Investissement dans les infrastructures de transport intérieur».
[78] OCDE (2016): « Marques commerciales déposées par pays d'origine».

[79] OCDE (2016): « Ressources humaines en sciences et technologies».
[80] OCDE (2016): « Diplômés de l'enseignement supérieur», Regards sur l'éducation.
[81] OCDE (2017): « Revenue Statistics».
[82] Olszewski. L et Olszewska. B (2005): « L'intégration économique européenne et la croissance des nouveaux membres de l'UE.«, Université Economique de Wroclaw, Wroclaw, Pologne.
[83] Toure, M. and C.M. Mezui (2017): « Climat d'investissement et proximité culturelle comme facteurs déterminants des IDE en Afrique», Série de documents de travail N° 271, Banque africaine de développement, Abidjan, Côte d'Ivoire.
[84] United Nations Public Administration Country Studies (2015): « Indices de développement», 2015.
[85] Vernon. R (1966): « International Investment and International Trade in the Product Life Cycle Quarterly», Journal of Economics, 190-207.
[86] Zmami. M (2017): « Libéralisation commerciale et investissement privé: une analyse de données de panel pour les entreprises manufacturières en Tunisie.«, Région et Développement n 45-2017.
[87] Zribi. Y et Fourati. R (2015): « Tableau de bord sur la compétitivité de l'économie tunisienne», Institut Tunisien de la Compétitivité et des Études Quantitatives.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1081-1087
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Overview of the feeding system for pigs raised in Kalehe territory, South Kivu, Democratic Republic of Congo

Justin NYANGEZI TABAYE[1], Justin ZIGASHANE KULIMUSHI[2], Carus ASIFIWE BUHENDWA[2], Rosine NTAKWINJA LUFUNGULO[1], Claudien IRAGI HAMULI[3], and Thierry HERI CISHESA[2]

[1]Institut Supérieur de Techniques de Dévelopment de Kalehe, Department of Environment and Sustainable Development, South Kivu, RD Congo

[2]Institut Supérieur des Etudes Agronomiques et Vétérinaires (ISEAV-Walungu), Department of Agrovetérinaire, South Kivu, RD Congo

[3]Institut Supérieur de Développement Rural de Kaziba (ISDR-KAZIBA), Planning Department, South Kivu, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work focuses on the status of the feeding system for pigs reared in the Mbinga-Sud group, Kalehe territory, in South Kivu. He made use of a survey questionnaire with a section of questions to collect the raw data then encoding them finally to produce graphs to produce.

The results show that 96% of breeders find that the feeding system of pigs reared in the Mbinga-South group is dominated by conventional feed that pigs pick up during scavenging. Regarding the types of simple food available in the Mbinga-Sud group to feed pigs semi-intensively, 44% of farmers show that green fodder and particularly cassava leaves (sombe) are the most used, 30% affirm that tubers and roots occupy second place, 17% of respondents distribute waste cereal flour and cassava; finally, the 9% indicates the banana constitutes for them a food to provide energy to the pigs.

As for the breeding system resulting from a feeding system, the results show that in pig breeding in the Mbinga-Sud group, only 9% of breeders say that breeding is practiced in pigsties or cages; the 61% show that rearing on ties or stakes in a semi-intensive breading system but with the level of rudimentary technicality for the production of pigs; 28% of breeders opt for the supply of food from agricultural residues and remains and 2% practice semi-industrial breeding.

KEYWORDS: System, feed, pig, Kalehe, South Kivu.

1 INTRODUCTION

Pig farming is practised all over the world under a variety of different farming systems, each resulting in a different level of intensification, which is directly correlated with the economic income of pig producers [1].

Intensive or industrial production systems in developing countries use a wide range of pig rearing techniques [2, 3]. The timid, extensive systems characteristic of substance farming are practised in small village production units, with an average of three or four pigs per herd [9]. Breeding conditions are often mediocre, and farmers devote a minimum of investment and intervention to maintain and increase yields [11].

The breeds used are mostly indigenous, and the herds are free-range for most of the year. Constantly on the lookout for food, given its digestive tract, the pig behaves largely as an intermediate type, while the distribution of concentrated feed is limited and highly irregular [23].

In the Democratic Republic of Congo, pig farming remains a traditional subsistence activity in many regions, dominated by a rudimentary breeding system characterized by a total absence of innovation and underproduction [7, 9].

Corresponding Author: Thierry HERI CISHESA

Once marginalized by many, pig farming is now gaining prominence in many parts of the province of Sud-Kivu, in the east of the DRC, with consumers of its meat numbering in the thousands these days [8, 12]. This type of farming is a guarantee of food security and family economic emergence, which is why enthusiasts of this activity call it an organic cooperative [23].

In South Kivu in general, and Kalehe territory in particular, there are a variety of feedstuffs that can be used for rational feeding in different pig rearing systems, such as cassava, bananas, maize, sorghum, sweet potatoes, taro, various forages and by-products with agricultural waste [16, 19]. These food sources require bromatological studies as a basis for valorizing the local knowledge of breeders [18].

The aim of this work is to analyse the current state of the feeding system for pigs reared in Kalehe territory, South Kivu.

2 ENVIRONMENT AND METHOD

2.1 MIDDLE

This work was carried out in the Mbinga-Sud groupement, Buhavu chiefdom, Kalehe territory, South Kivu province, Democratic Republic of Congo, with a surface area of 396 km2. It is bordered to the north by the Mbinga-Nord grouping with the NDINDI/Lushebere river, to the south by the Kalehe territory across the Nyawaronga river, to the east by Lake Kivu and to the west by the Ziralo and Mubuku groupings. Its latitude is between 1°45° and 2°10 and its longitude between 23°4 and 28° East. The Mbinga-Sud cluster is subject to the climatic influences of the equatorial zone. Winds blowing in from the ocean reach the eastern part of Mutumba, which is still humid, resulting in rainfall ranging from 1,500 mm to 1,800 mm/year. The average isotherm of 15° is located at around 2200 m altitude and marks the extreme limit of cultivation, i.e. plant growth becomes too slow at this altitude. In terms of season, the climate influences two seasons:

- The rainy season runs from September to May, i.e. 9 months;
- The dry season runs from June to August, i.e. 3 months.

Figure 1 shows the mapping of the study environments.

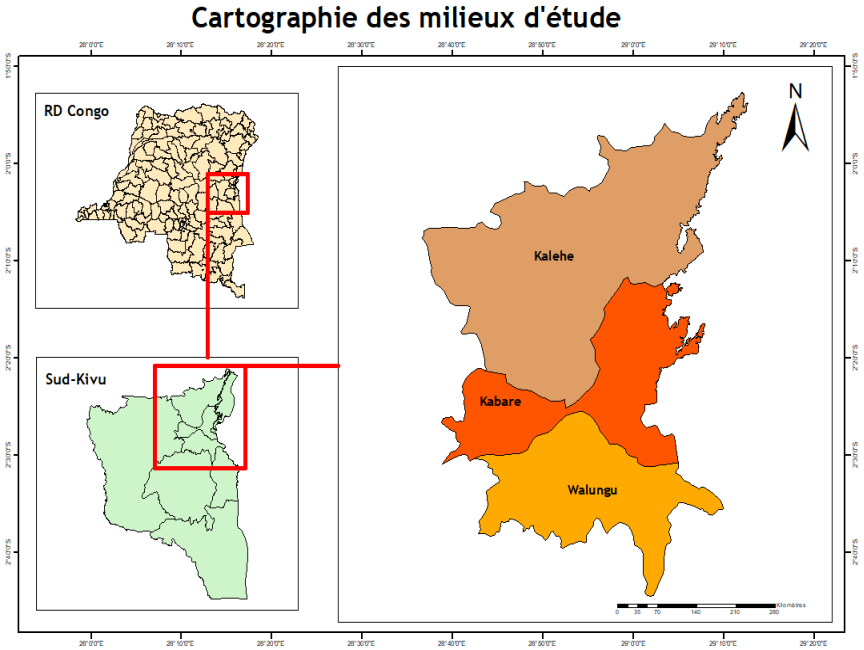


Fig. 1. Mapping of study environments

2.2 METHOD

This study makes use of a survey questionnaire with different sections of questions previously established, tested and addressed to pig producers in the Mbinga-Sud group in Kalehe territory, South Kivu.

A survey combined with observations was carried out in the Mbinga-Sud cluster running from November 2018 to July 2019. For this purpose, a survey questionnaire was developed and administered to pig producers. A representative sample of 105 pig farmers with

special consideration given to seniority in pig farming, pig herd size, range and distance between pig farmers in the Mbinga-Sud groupement was taken as a guide to select the sample. Data encoding and calculations of percentages, averages and frequencies were performed using the MS Excel package.

3 RESULTS

3.1 SENIORITY IN PIG FARMING

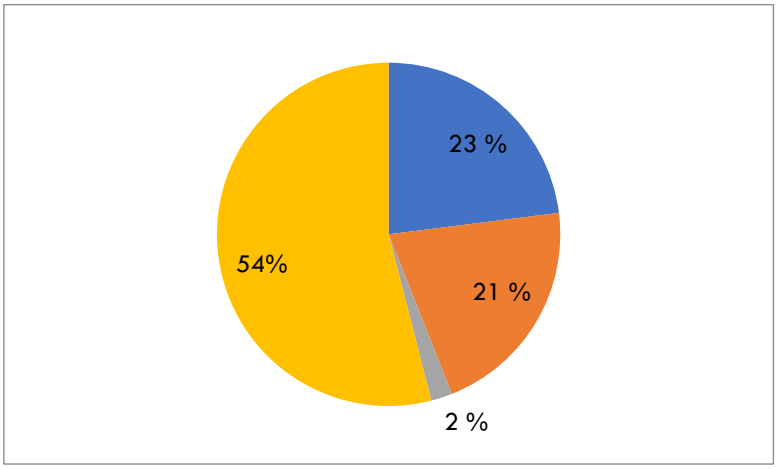


Fig. 2. Age of pig farmers

From these results, it can be seen that the duration of pig rearing in the Mbinga-Sud group is structured as follows: 54% of all respondents stated that the duration of pig rearing was less than 10 years, which shows that pig rearing is still recent in the Mbinga-Sud group, and that the pig reared is exotic. For this reason, pig breeding poses a problem, especially in terms of feeding, as the ratio between the income of the inhabitants and the cost of production is unbalanced; 23% declared more than 10 years, 21% more than 25 years, and the tiny minority of 2% declared more than 50 years as pig breeders in the Mbinga-Sud group, Kalehe territory.

3.2 ORIGIN (PLACES OF SUPPLY) OF PIGS RAISED IN THE MBINGA-SUD GROUP

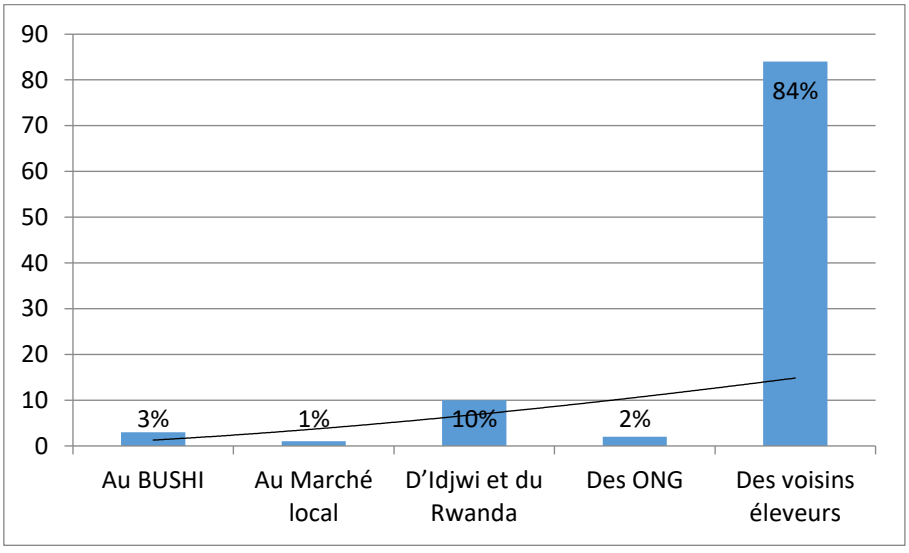


Fig. 3. Source of broodstock

The results of this graph show that 84% of all respondents obtain their pig breeding stock from neighboring breeders, 10% from Idjwi and Rwanda, 3% from Bushi, 2% from NGOs and 1% from the local market. This diversity of crosses between several strains calls for an in-depth study into the characterization of the breed bred in the Kalehe territory.

3.3 GROUP-BRED PIG IN KALEHE TERRITORY

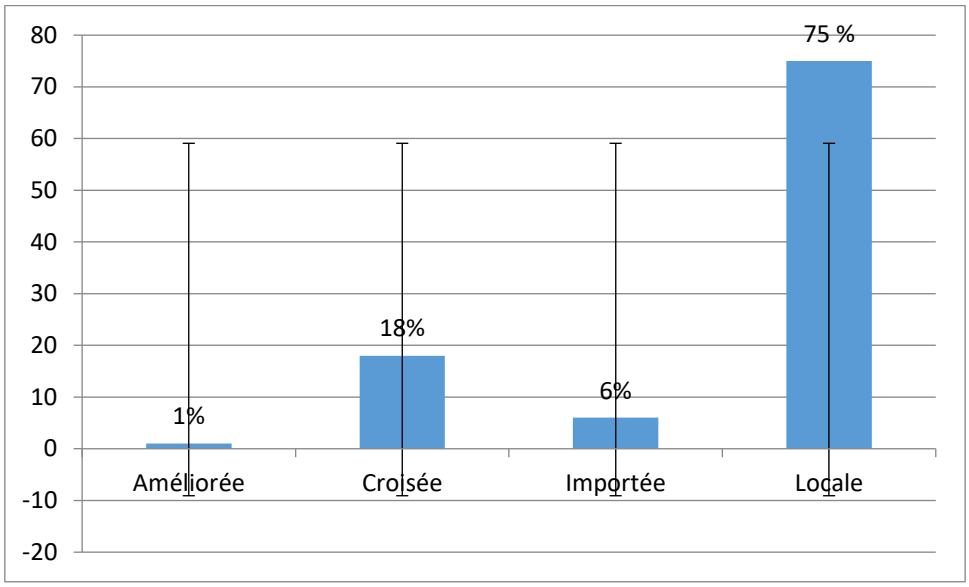


Fig. 4. High breed

The results in Fig. 3 show that 75% of all respondents said that the pigs raised in the Mbinga-Sud group, Kalehe territory, were local breeds, while 18% were the result of cross-breeding between different breeds of different origins; 6% proved that they were exotic breeds. This refers to black pigs brought in from Rwanda. Finally, 1% come from the improved breed of pigs bred in Mbinga-Sud, acquired from farms in the region.

3.4 TYPES OF FEED FOR PIGS

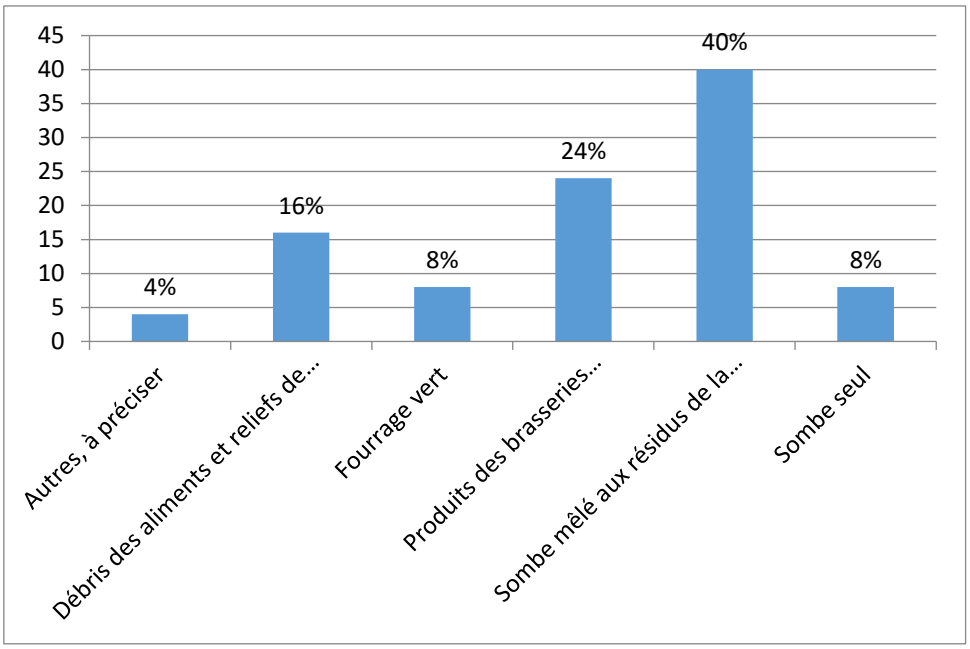


Fig. 5. Power supply types

3.5 TYPES OF FOOD

From these results, it can be seen that the highest score, 40% of all respondents, serve the ration made up of sombe (cassava leaf) accompanied by other foods, especially bananas, taro, and waste from cassava, sorghum, soya and maize mills; 24% serve products from traditional breweries to the pigs, These include banana brewing, sorghum flour residues, juice fermentation, wine filtering, local drinks known as "Kanyanga" and maize for "Mandale". 16% feed the pigs with agricultural residues and bananas as an energy source; 8% use

green fodder or Sombe alone. Lastly, the remainder of respondents use several other feeds from the agri-food industry, such as spent grain and oilcake.

3.6 REASONS FOR NOT USING CERTAIN FOOD GROUPS

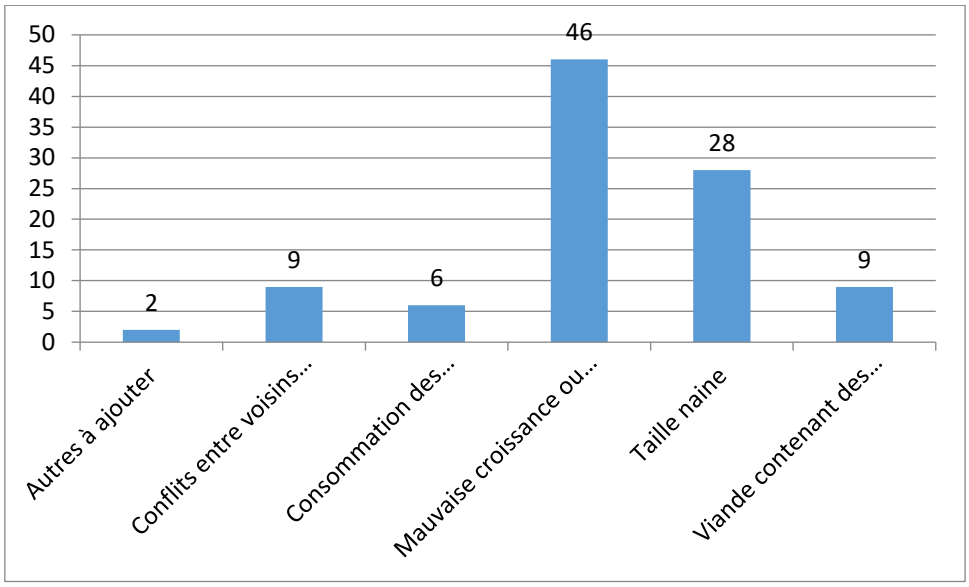


Fig. 6. Reasons for non-use of food groups

A reading of the results in this graph reveals the highest score (46%) of all respondents who declare the scarcity of sombe (cassava leaves) and other green fodder for pig feed in the Mbinga-Sud group; 30% say that they use tubers (taro, potato), roots (cassava and sweet potato) and cereals such as maize and sorghum, while 17% say that flours from these cereals and cassava are their food sources. Finally, 9% of all respondents say that bananas are planted by almost every household in the Mbinga-Sud group. Faced with such a reality and the poverty that is eating away at households in the group, let's see if there are any possibilities of exploiting these resources and ensuring a normal diet for the pigs.

3.7 BREEDING SYSTEM DERIVED FROM A FEEDING SYSTEM

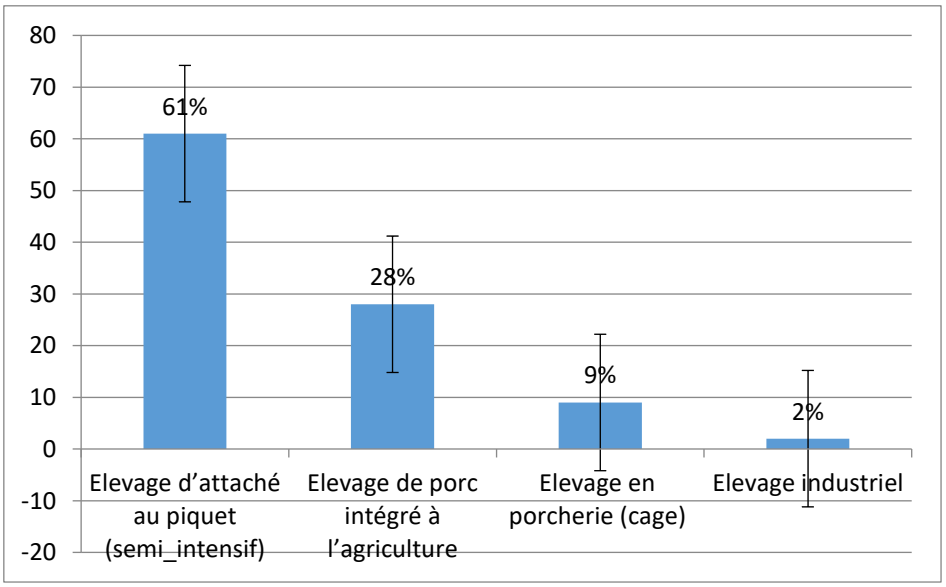


Fig. 7. Livestock farming system in the Mbinga-Sud groupement

Based on the results of this table, the Mbinga-Sud group's pig rearing system, which could provide this readily available feed and prevent the consequences of neglecting it, is as follows: 61% propose rearing pigs tied to stakes, 28% rearing pigs integrated with

agricultural feed, 9% rearing pigs in cages and 2% proposing an industrial rearing system. These proposals will serve as the basis for our recommendations and suggestions to the group's pig farmers.

4 DISCUSSION

The results relating to the identification of pig feeding systems in the Mbinga-Sud groupement show that 69% of pigs in the groupement declare that they are fed by wandering pigs on their own, compared with 31% who ration their pigs. These results confirm our hypothesis that stray pig feeding systems are the most widely practised in pig farming in the Mbinga-Sud groupement, Kalehe territory. These results are in line with those of [2, 12] in tropical regions with agroecological conditions similar to those of Kalehe;

These results do not detract from the work of authors [4, 3, 8] who demonstrate that the quantitative and qualitative improvement of pig production depends on good feeding practices combined with other effective monitoring practices.

The types of feed available for pig rearing in the Mbinga-Sud group show green fodder and Sombe at 44%, tubers and roots at 30%, cereal meal and cassava waste at 17%, and bananas at 9%. These results confirm those of authors [3, 9, 12], confirming the theme that pig rearing in tropical environments is of the extensive type, using rudimentary, low-yield techniques. As a result, 9% proposed pig breeding in cages, 61% pig rearing on stakes or semi-intensively; 28% integrated with agricultural feed and 2% industrial farming.

5 CONCLUSION

The aim of this work is to analyze the current state of the feeding system for pigs raised in the Mbinga-Sud groupement, Kalehe territory, in South Kivu.

The main results of this work show that 96% of farmers find that the feeding system for pigs raised in the Mbinga-Sud groupement is dominated by conventional feed, which the pigs collect when they wander off.

With regard to the types of simple feed available in the Mbinga-Sud group to feed pigs semi-intensively, 44% of farmers say that green fodder, particularly manioc leaves (sombe), is the most widely used, while 30% say that tubers and roots come second. 17% of respondents distribute cereal and manioc flour waste, and 9% say that bananas are used to provide energy for pigs.

As for the rearing system derived from a feeding system, the results show that in pig rearing in the Mbinga-Sud group, only 9% of farmers affirm that rearing is practiced in pigsties or cages; the 61% show that rearing on tethers or stakes in a semi-intensive rearing system, but with a rudimentary level of technical skill for pig production; 28% of farmers opt to supply feed from agricultural residues and leftovers, and 2% practice semi-industrial rearing.

REFERENCES

[1] FAO, «Secteur Porcine République Démocratique du Congo», Revues nationales de l'élevage de la division de la production et de la santé animales de la FAO. No. 2, (2012). Rome.
[2] WR. Nonfon, «La filière de production du porc local au Bénin: l'amélioration de sa productivité par l'alimentation», Doctoral thesis in Agronomic Sciences and Biological Engineering, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgium, (2005), 236p.
[3] A. K.I. Youssao, G.B. Koutinhouin, T.M. Kpodekon, A.G. Bonou, A. Adjakpa, C.D. G Dotcho, F.T.R. Atodjinou, « Production porcine et ressources génétiques locales en zone périurbaine de Cotonou et d'Abomey-Calavi au Bénin», Revue d'Élevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux, (2008), 61: 235-243.
[4] A. M. Agbokounou, G. S. Ahounou, I.Y. Karim, G. A. Mensah, B. Koutinhouin, J.L. Hornick, «Journal of Animal &Plant Sciences», Vol.30, Issue 1: (2016), 4701-4713.
[5] V. PORPHYRE.« Enjeux et contraintes des filières porcines en Afrique de l'Ouest», (2009), nº 46-47.
[6] UNDP, «Profil résumé, Pauvreté et condition de vie de ménage», (2009).
[7] CAVTK, «Troupeaux et cultures des tropiques, RDC, Kinshasa», (2003).
[8] FAO, «Production et santé animale/Secteur porcin R. D. Congo, Kinshasa,» (2012).
[9] D. H. Holnes, «Le porc». - Maisonneuve et Larousse Paris: ACCT-CTA. - 217p.
[10] P. MUYS, G. WESTERNBRINK, J. MEINDERTS,« L'élevage des porcs dans les zones tropicales», Fondation Agromisa, ageningen,« (2003), 87p.
[11] J. NDEBI, J. KAMAPON, J. ONGLA, «Analyse des contraintes au développement de la production porcine au Cameroun». Tropicultura, 27, 2, (2009), 70 - 76.
[12] G. NDEBI, D. KAMGNI & J. TCHOUMBOUE, «Etude des marges dans les circuits de commercialisation du porc au Cameroun». Tropicultura, 22, 3, (2004), 104-109.
[13] L. TOBBACK, «Des maladies du bétail du Congo-Belge, Direction de l'Agriculture, de l'élevage, et de la Colonisation», Bruxelles (Belgique), Place royale, (1951), 7, 519 p.

[14] M. BAGALWA, B. BALUKU, «Distribution des mollusques dulcicoles, hôtes intermédiaires des schistosomes humains à Katana, Sud Kivu, RD Congo». Méd. Trop (1997), 57, 4, 370- 377.
[15] L. MOPATE, ET O. KOUSSOU, «L'élevage porcin, un élevage ignoré mais pourtant bien implanté dans les agro-systèmes ruraux et périurbains du Tchad», (2003).
[16] J.S. Boukar, and C. Foret, «Actes du colloque» (scientific editors), (2002), 27-31, Cameroon, 9p.
[17] G NDEBI, J. KAMAPON, J. ONGLA, «Analyse des contraintes au développement de la production porcine au Cameroun». Tropicultura, 27, 2, 70 - 76, (2009).
[18] G. NDEBI, B KAMGNIA DIA. & J TCHOUMBOUE, «Etude des marges dans les circuits de commercialisation du porc au Cameroun», Tropicultura, 22, 3, 104-109, (2004).
[19] L. MOPATE, «L'élevage porcin sur deux terroirs villageois de référence (Ngoko et Tchanar) de la zone des savanes du Tchad», (2000).
[20] M. MASUNGA, «Etude d'infestations anthropozoon oses dans le territoire de Kabare, Sud Kivu, RD Congo. Synthèse des recherches faites de 2005 à 2011», CRSN/Lwiro, 8p.
[21] T. H CISHESA, V. N MITUGA, D. L CIBIKWA, S. B ZOZO, T. K METRE and V. S MATUMUABIRHI, «Caractérisation des éctoparasitoses en élevage de cobaye et essai de traitement par l'huile de palme associe au kérosène dans le Territoire de Walungu / Sud-Kivu en République Démocratique du Congo», scientific article in International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 14 No. 1 Mar. (2015), pp. 70-82, http://www.ijisr.issr-journals.org/.
[22] FM MEUTCHIEYE, «Promouvoir les élevages des chèvres à travers une approche intégrée pour lutter contre la pauvreté au Cameroun», (2013), Agridap, vol 29.
[23] ASFRISK, «Risk assessment and control of African swine fever in the EU», (2011) (from 01/04/2008 to 31/06/2011).
[24] F. BILL, «Que faire sans vétérinaire», CIRAD publishing department, CTA, Karthala, (2002), France.
[25] A. HART, «Troupeaux et cultures de tropiques, ministères de l'agriculture, pêche et élevage, Kinshasa/Gombe,» (2012).
[26] A. PRAUD, «Risques zoonotiques liés à l'importation de nouveaux animaux des compagnies», thesis, Unedited, Facméd de CRETEIL 2008.
[27] A. Missohou, M. Niang, H. Foucher and P.N. Dieye, «Pig farming systems in Basse Casamance (Senegal),» Cahiers Agricultures 10, (2001), 405 - 408.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1088-1097
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Application of Correspondence Factor Analysis (CA) on data on the nutritional status of children under 5 years old, PRONANUT, from January to December 2022 in DR Congo

Don Folly FOFOLO Mulembu[1], Rostin MABELA Makengo Matendo[2], Fidèle MUAKU Mvunzi[3], Grace NKWESE Mazoni[3], and Camile LIKOTELO BINENE[3]

[1]Dpt. Computer Science & Mathematics, Technical Section, ISP Kikwit, RD Congo

[2]Dpt. Mathematics, Statistics and Computer Science, Faculty of Science and Technology, University of Kinshasa, RD Congo

[3]Dpt. Mathematics, Statistics and Computer Science, Faculty of Science and Technology, National Pedagogical University of Kinshasa Ngaliema, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective pursued in this article is to study Correspondence Factor Analysis (CA), which is an extremely powerful tool for synthesizing information, widely used when dealing with a large mass of qualitative data. treat.
It also makes it possible to identify existing relationships between individuals by evaluating their similarities, as well as relationships between variables by evaluating their connections, and obtain a simple representation of the data cloud in a low-dimensional space closer to reality.
Factorial analysis of the data was applied using R software, version 4.3.1 (2023-06-16 ucrt).
The application of the said method was carried out on «the nutritional status of Congolese children under 5 years old, from January to December 2022, PRONANUT, DR Congo».
The data was summarized in a table of 26 row categories and 12 column categories. The 26 rows (individuals) represent the health provinces of DR Congo and the 12 columns, the variables relating to the activities of the PRONANUT Preschool Consultation.

KEYWORDS: Data analysis, Factorial correspondence analysis, Nutritional status of Congolese children under 5 years old.

1 INTRODUCTION

That today's world is experiencing a "data revolution": this is an undeniable fact. Because, with the dematerialization of an increasing number of processes and the appearance of completely new digital products and services, the quantity of digital data created increases exponentially (N. Shadboldt, H. Verdier, 2015-2016).

Also, in recent years, the explosion in the volume of data has been at the heart of the strategic priorities of governments, institutions, businesses and organizations. To the extent that this data is collected, analyzed and exploited, it offers unprecedented possibilities in terms of economic, medical, educational, managerial, financial, banking, advertising, commercial, electoral innovation, etc. This is why the development of new technologies such as Artificial Intelligence and Machine Learning only reinforce this phenomenon.

In addition, data analysis is a set of descriptive techniques, the major mathematical tool of which is matrix algebra, which is expressed without a priori assuming a probabilistic model (F. Z. Kasmi, 2019).

It includes, among other things :

- Principal component analysis (PCA), used for quantitative data, and its derived methods;
- Factorial correspondence analysis (CA) used on qualitative data (association table);
- Factorial analysis of multiple correspondences (AFCM or ACM) generalizing the previous one;

- Canonical analysis and generalized canonical analysis, which are more theoretical frameworks than easily applicable methods, extend several of these methods and go beyond description techniques (L. Lebart, M. Piron, A. Morineau, 2006).

Although these techniques described above are available in the standard extensions of R, it is often preferable to use two other more complete extensions, ade4 and FactoMineR, each having its advantages and different possibilities (J. Larmarange, et al. (2022).

Data analysis is also a set of techniques for structuring, possibly complicated, a multi-dimensional array of numbers and translating it into a structure at best. This structure can most often be represented graphically" (J-P. Fénelon, 1981).

That said, data analysis is a subfield of statistics that concerns itself with the description of joint data. We seek, through these methods, to provide the links that may exist between the different data and to derive statistical information which makes it possible to describe, in a more succinct way, the main information contained in these data. Hence our question :

1. What is the relevant information contained in the data table that must be extracted, summarizing it in order to make graphical representations that are both faithful to the initial data and easy to interpret?
2. Taking into account the similarities between individuals and the connections between variables, is it possible to summarize all the data by a restricted number of values without significant loss of information?
3. Is there a relationship between all the variables on the nutritional status of Congolese children under 5 years old?
4. Can we seek to reduce the number of variables describing the data, the quantity of information reduced, to the best maintained?

As we can see, all these questions ultimately aim to :

- Respond to the problems posed by statistical tables resulting from the study with large dimensions, that is to say the tables contain a high number of individuals, in rows (n) and several variables in columns (p) ;
- Summarize the information contained in a large table in the form of a matrix ;
- Organize and visualize information ;
- Identify useful information.

This is why this research studies the variability of factors in the nutritional status of Congolese children under 5 years old followed in preschool consultation structures (CPS). After the presentation of data relating to the nutritional status of children under 5 years old, coming from the National Nutrition Program (PRONANUT), we will carry out the Correspondence Factor Analysis (CA) or the model, before proceeding to analysis of the related results.

2 DATA PRESENTATION

In this study, the data come from the National Nutrition Program (PRONANUT) database. In fact, these are secondary data from the health provinces of the Democratic Republic of Congo detailing the nutritional status of Congolese children under 5 years old, i.e. the child's first 1000 days, at the national level.

After pre-processing the received data, our data frame includes 26 rows and 12 columns. And, the modalities rows (I) are the 26 health provinces of the DRC ; without forgetting that the column modalities (J) are the 12 variables on the nutritional status of Congolese children under 5 years old. All these data were obtained after pre-processing.

Furthermore, the target population is made up of Congolese children under 5 years old who participated in Pre-School Consultation (CPS) activities from January to December 2022.

Table 1. Data.frame of row (26) and column (12) modalities

PS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	EAEM6	**EAC611**	**EAC1223**	**AnjeM6**	**Anje611**	**EDEP1223**	**EDEP2459**	**CCPAM6**	**CCPA611**	**CCPA1223**	**CCPA2459**	**SVTA611**
1	5516	13344	7477	2246	2840	4628	6865	165	199	269	309	3849
2	10678	10438	5021	5591	4664	2350	2354	2323	1710	1159	802	6532
3	42375	30580	14418	30279	22052	17497	17412	2812	3100	2685	2299	23232
4	14366	20309	19846	15626	15660	16482	21917	4088	5549	6936	10846	14330
5	10167	11677	8032	4385	5052	6792	11247	388	548	535	557	5851
6	35403	34003	24511	25151	22445	16834	19846	933	1755	2020	2289	18569
7	29650	28096	18168	29238	24092	3049	3693	151	643	708	512	6766
8	31400	31177	32777	32365	28836	15253	25207	693	3729	6729	10334	16462
9	12257	33171	30131	13030	18326	16774	20431	374	1549	2617	2908	11052
10	20913	44358	60299	16815	22468	25646	29006	696	3645	6438	6342	18336
11	59630	39949	9908	42072	25511	7504	5903	1006	987	366	160	26072
12	28122	45841	63186	31981	40242	16500	19028	786	5715	8855	9524	21922
13	14927	21798	27454	14397	18127	14672	22353	1441	3843	5525	6849	13653
14	13135	13621	10263	12197	8642	8616	9941	588	584	783	699	9303
15	15852	28238	37216	17997	22753	16418	25458	219	1863	3829	4756	14489
16	7922	12745	12432	5946	6798	7752	9010	199	704	1134	1268	7593
17	9044	9202	5821	1274	1466	4235	4155	423	444	401	364	6318
18	12527	12820	8972	9384	8107	6726	7654	347	964	1265	1142	7098
19	87210	71287	70906	69511	54897	41684	55893	3194	8365	6058	7397	33681
20	12020	17048	18650	7649	22067	7173	8033	250	727	1060	752	7278
21	39567	67682	37362	45841	49677	28412	33615	1463	4586	5582	5554	28702
22	9294	14884	18466	8001	12133	6118	8731	871	2317	4466	4751	7414
23	23015	32403	34064	13196	20113	13106	14812	158	832	1666	1515	20009
24	14330	19086	18786	12154	15652	9955	11373	518	4960	6811	6792	10732
25	19345	20735	20453	13328	15011	13007	19063	327	574	797	930	10979
26	5884	10461	17723	4878	6838	13351	16894	1347	1686	2837	3751	7687

Source : Designed by us, following PRONANUT data, from January to December 2022.

3 MODEL

3.1 CHOICE OF MODEL

Correspondence factor analysis (CA) is used on qualitative data (association table). It is a statistical method of data analysis, which makes it possible to analyze and prioritize the information contained in a rectangular table of data and which, today, is particularly used to study the link between two qualitative (or categorical) variables).

The present study includes 26 individuals, i.e. the health provinces of DR Congo and 12 SPC activities as qualitative variables. The data table is of the *individuals*qualitative variables type,* based on factorial correspondence analysis (CA).

3.2 MODEL OVERVIEW

3.2.1 FACTOR CORRESPONDENCE ANALYSIS (CA)

It deals with the case of two qualitative or categorical variables.

Let $\boldsymbol{X}$ and $\boldsymbol{Y}$ be two qualitative or categorical variables with $\boldsymbol{p}$ and $\boldsymbol{q}$ categories (modalities), respectively, describing a set of $\boldsymbol{n}$ individuals (Z. Sayl, 2019-2020). Factor Analysis is based on the cloud of points, called a contingency table, denoted by **N^***. This is the matrix of observed numbers of $\boldsymbol{p}$ rows and $\boldsymbol{q}$ columns.

By crossing the two variables $\boldsymbol{X}$ and $\boldsymbol{Y}$ we obtain :

$$\boldsymbol{N^* = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \dots & x_{pq} \end{pmatrix} \in \mathcal{M}(p * q),}$$

Or :

$\boldsymbol{x_{ij}}$ **:** this is the observed number, an element obtained by the intersection of **row** $\boldsymbol{i}$ and **column** $\boldsymbol{j}$**.**

DEFINITION 2.2.1.

We say that $\boldsymbol{N}$ is the contingency table crossing the qualitative variables $\boldsymbol{X}$ and $\boldsymbol{Y}$**,** if $\boldsymbol{N}$ is of the form **:**

$$N = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & \cdots & \cdots & x_{1q} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \vdots & \cdots & \boldsymbol{x_{ij}} & \dots & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & \cdots & \cdots & x_{pq} \end{bmatrix}$$

Where $\boldsymbol{x_{ij}}$ is the number of observations simultaneously presenting the modalities $\boldsymbol{i}$ of $\boldsymbol{X}$ and $\boldsymbol{j}$ of $\boldsymbol{Y}$.

In our study, $\boldsymbol{x_{ij}}$ is the number of Congolese children under 5 years old belonging to health province $\boldsymbol{i}$ who participated in CPS activity $\boldsymbol{j}$.

DEFINITION 2.2.2.

The weight of row $\boldsymbol{i}$ is defined by :

$$p_i = \frac{x_{i\bullet}}{x\bullet\bullet}$$

The weight of column $\boldsymbol{j}$ is defined :

$$q_j = \frac{x_{\bullet j}}{x\bullet\bullet}$$

Or :

$$x_{\bullet j} = \sum_{i=1}^{n} x_{ij} \quad , \quad x_{i\bullet} = \sum_{j=1}^{p} x_{ij}$$

And $\boldsymbol{x} = \sum_{j=1}^{p} x_{\bullet j} = \sum_{i=1}^{n} x_{i\bullet} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p} x_{ij}$

DEFINITION 2.2.3.

The profile of row $\boldsymbol{i}$ is defined by :

$$x_i = \left\{\frac{x_{ij}}{x_{i\bullet}}\right\} \; j = 1, \dots, p$$

The profile of column $\boldsymbol{j}$ is defined by :

$$y_i = \left\{\frac{x_{ij}}{x_{\bullet j}}\right\} \; i = 1, \dots, n$$

We pose :

$$D_I = diag(p_1, \dots, p_n)$$

$$D_J = diag(q_1, \dots, q_p)$$

$$X_{n*p} = \frac{1}{k} D_I^{-1} X$$

And

$$Y_{p*n} = \frac{1}{k} D_J^{-1t} X$$

DEFINITION 2.2.4.

We define two point clouds :

$$N(I) = \left\{(x_i, p_i), x_i \in \mathbb{R}^p, p_i > 0, \sum p_i = 1\right\}$$

$$N(J) = \left\{(y_i, q_i), y_j \in \mathbb{R}^n, q_j > 0, \sum q_i = 1\right\}$$

DEFINITION 2.2.5.

The distance between rows $\boldsymbol{x_i}$ and $\boldsymbol{x_i'}$ is given by :

$$\boldsymbol{d^2(x_i, x_i') = {}^t (x_i - x_i') A_I (x_i - x_i')}$$

Or $\boldsymbol{A_I = D_J^{-1}}$

The distance between the column profiles $\boldsymbol{y_i}$ and $\boldsymbol{y_i'}$ is given by :

$$\boldsymbol{d^2(y_i, y_i') = {}^t (y_i - y_i') A_I (y_i - y_i')}$$

Or $\boldsymbol{A_J = D_I^{-1}}$

NOTICED

This distance is called the metric of χ^2.

Indeed, by replacing $\boldsymbol{x_i}$ and $\boldsymbol{x_i'}$ respectively by $\left\{\frac{x_{ij}}{x_{i\bullet}}\right\}$ $j = 1, \dots, p$ and

$\left\{\frac{x_{i'j}}{x_{i'\bullet}}\right\}$ $j = 1, \dots, p$ in definition 2.2.5, we obtain :

$$\boldsymbol{d^2(x_i, x_{i'}) = {}^t (x_i - x_{i'}) A_I (x_i - x_{i'}) = \sum_{j=1}^{p} \frac{x}{x_{\bullet j}} \left(\frac{x_{ij}}{x_{i\bullet}} - \frac{x_{i'j}}{x_{i'\bullet}}\right)^2}$$

We do the same thing for the column profiles $\boldsymbol{y_i}$ and $\boldsymbol{y_i'}$ and we obtain :

$$\boldsymbol{d^2(y_j, y_{j'}) = {}^t (y_i - y_{j'}) A_J (y_j - y_{j'}) = \sum_{j=1}^{p} \frac{x}{x_{i\bullet}} \left(\frac{x_{ij}}{x_{\bullet j}} - \frac{x_{ij'}}{x_{\bullet j'}}\right)^2}$$

Simple correspondence analysis consists of carrying out a principal component analysis of the cloud of points $N(I)$, by setting : $V_I = {}^t X D_I X$ the inertia matrix relative to the origin, and AI the weight matrix.

4 RESULTS ANALYSIS

4.1 DATA PROCESSING

The computer processing was carried out using the R software, Version 4.3.1. from 06-16-2023. We used the packages :

- **FactoMineR** with the function: **CA** which performs factorial analysis of correspondences;
- **Factoextra** using the functions: **fvz_screeplot** to visualize the eigenvalues; **fviz_ca_row()** is used to visualize the columns and **fviz_ca_col()** is used to produce the column graph.

4.2 DATA ANALYSIS AND INTERPRETATION OF RESULTS

REPRESENTATION OF INDIVIDUALS ON THE MAIN FOREGROUND

Looking at graph 3.1., shown below, it is necessary to show the relationships between the rows points.

First, we see that rows with a similar profile are grouped together as follows :

- 1 (Bas Uele), 23 (Sud Ubangi), 20 (North Ubangi), 25 (Tshopo), 5 (Haut Uele), 16 (Maï-Ndombe), 15 (Lomami), 9 (Kwango) and 10 (Kwilu) ;
- 17 (Mangala), 14 (Lualaba), 6 (Ituri), 18 (Maniema), 19 (North Kivu) and 21 (South Kivu) ;
- 13 (Kasaï), 22 (Sankuru) and 24 (Tanganyika).

Then, the negatively correlated rows are positioned on opposite sides of the graph origin (opposite quadrants).

Finally, the distance between the rows points and the origin measures the quality of the rows points on the graph. Rows points that are far from the origin are well represented on the graph. We have :

- 4 (Haut Lomami) and 26 (Tshuapa) ;
- 2 (Ecuador), 3 (Haut Katanga) and 11 (Kinshasa) ;
- 1 (Bas Uele), 10 (Kwilu) and 23 (South Ubangi) ;
- 7 (Kongo Central).

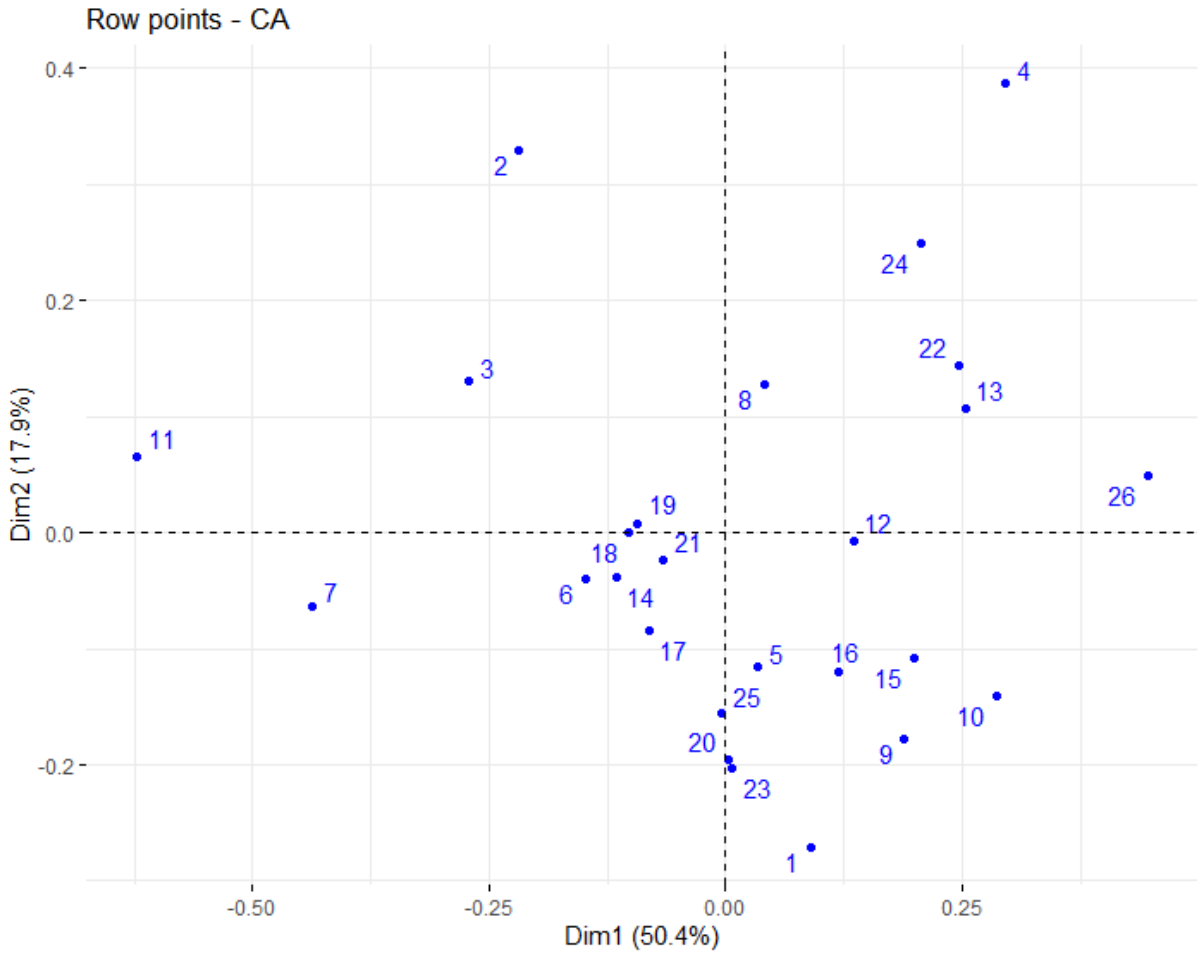


Fig. 1. Mapping of rows points

REPRESENTATION OF VARIABLES ON THE FIRST MAIN PLANE

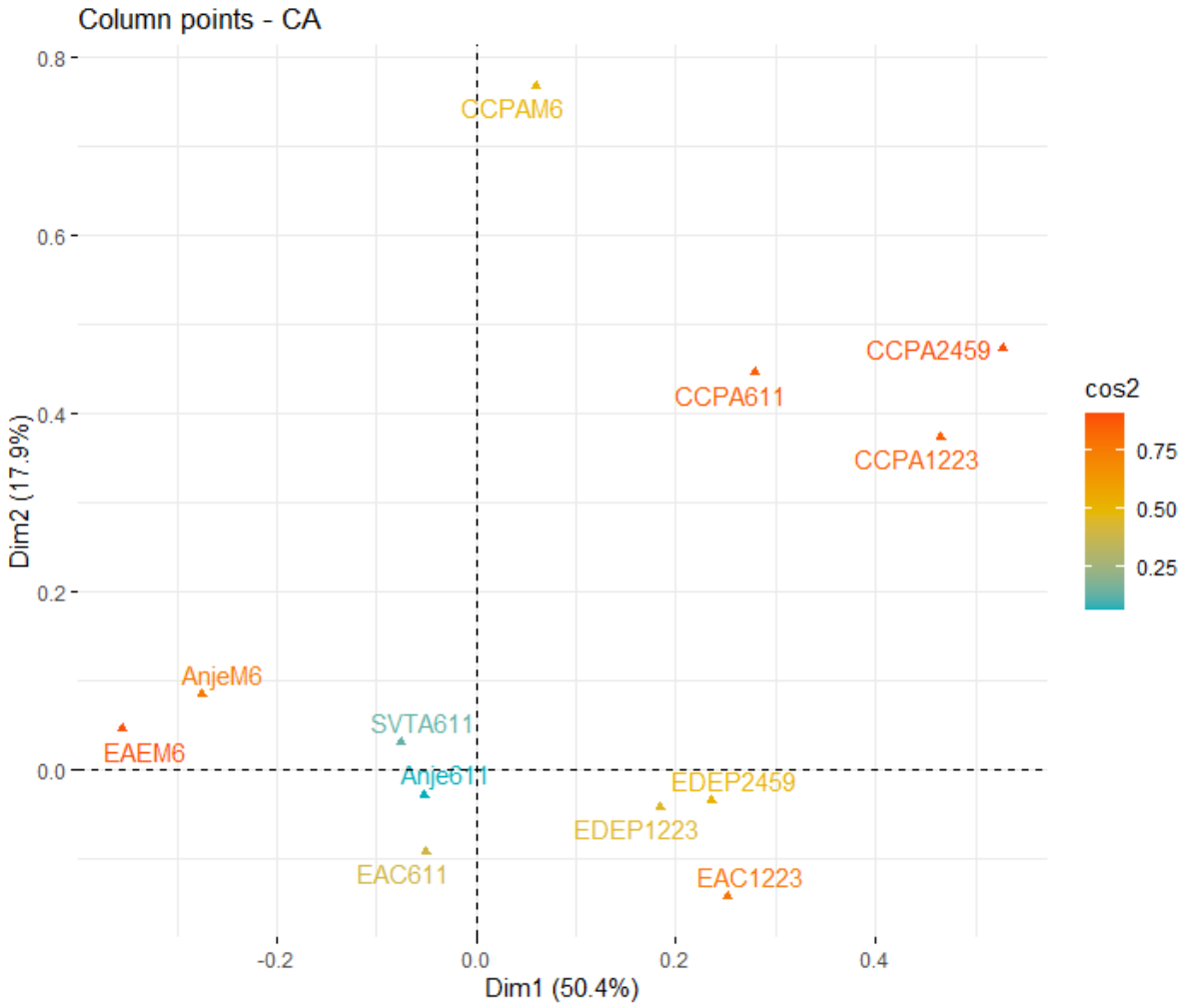


Fig. 2. Mapping of columns according to their cos2

REPRESENTATION OF INDIVIDUALS AND VARIABLES ON THE FIRST MAIN PLANE

According to Figure 3, below, rows are represented by blue dots and columns by red triangles.

The distance between rows points or between columns points gives a measure of their similarity (or dissimilarity). ***Rows points with a similar profile are close together on the graph. The same goes for column points.***

Through Figure 3, we see that :

- Row 4 (Haut Lomami) is most associated with columns CCPA611, CCPA1223 and CCPA2459 ;
- Rows 2 (Equateur) and 3 (Haut Katanga) are most associated with column AnjeM6 ;
- Rows 6 (Ituri), 14 (Lualaba) and 21 (South Kivu) are most associated with column Anje611 ;
- Rows 8 (Kasaï Oriental), 19 (North Kivu) and 18 (Maniema) are most associated with column SVTA611 ;
- Rows 1 (Bas Uele), 9 (Kwango), 10 (Kwilu) and 15 (Lomami) are most associated with column EAC1223 ;
- Rows 5 (Haut Uele), 17 (Mongala), 20 (North Ubangi), 23 (South Ubangi), 25 (Tshopo) are most associated with column EAC611 ;
- Rows 13 (Kasaï), 22 (Sankuru) and 26 (Tshuapa) are most associated with column EDEP2459 ;
- Row 24 (Tanganyika) is most associated with column CCPA1223 ;
- Rows 7 (Kongo Central) and 11 (Kinshasa) are most associated with column EAEM6.

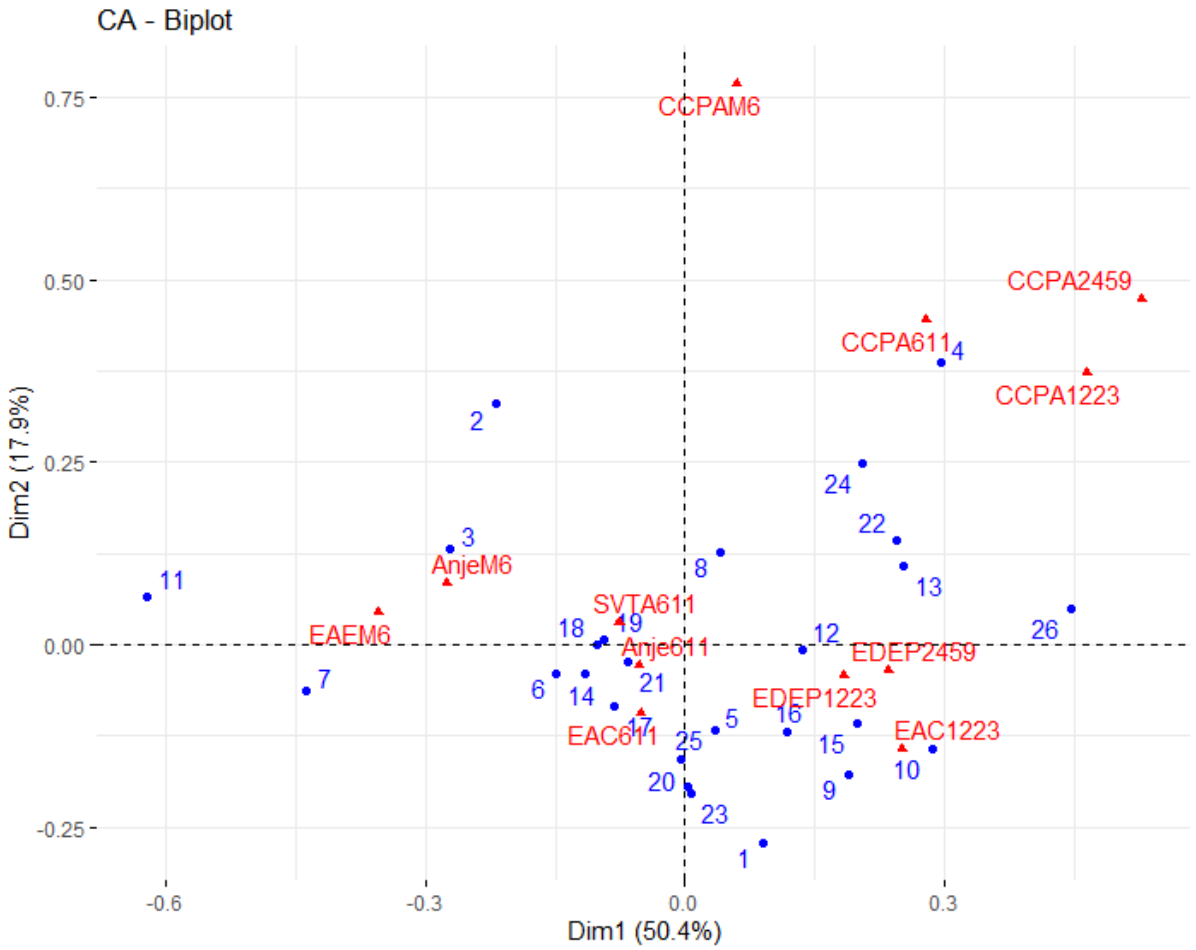


Fig. 3. Biplot of row and column modalities

SCREE-PLOT REPRESENTATION OF PERCENTAGE EIGENVALUES

Eigenvalues can be used to determine the number of axes to retain. An analysis is good when the first dimensions account for a large part of the variability. The first two axes explain **68.3%** of the total variance. This is an acceptable percentage. To determine the number of dimensions is to look at the graph of eigenvalues **(scree-plot)**, ordered from largest to smallest value. The number of axes is determined by the point, beyond which the remaining eigenvalues are all relatively small and of comparable sizes.

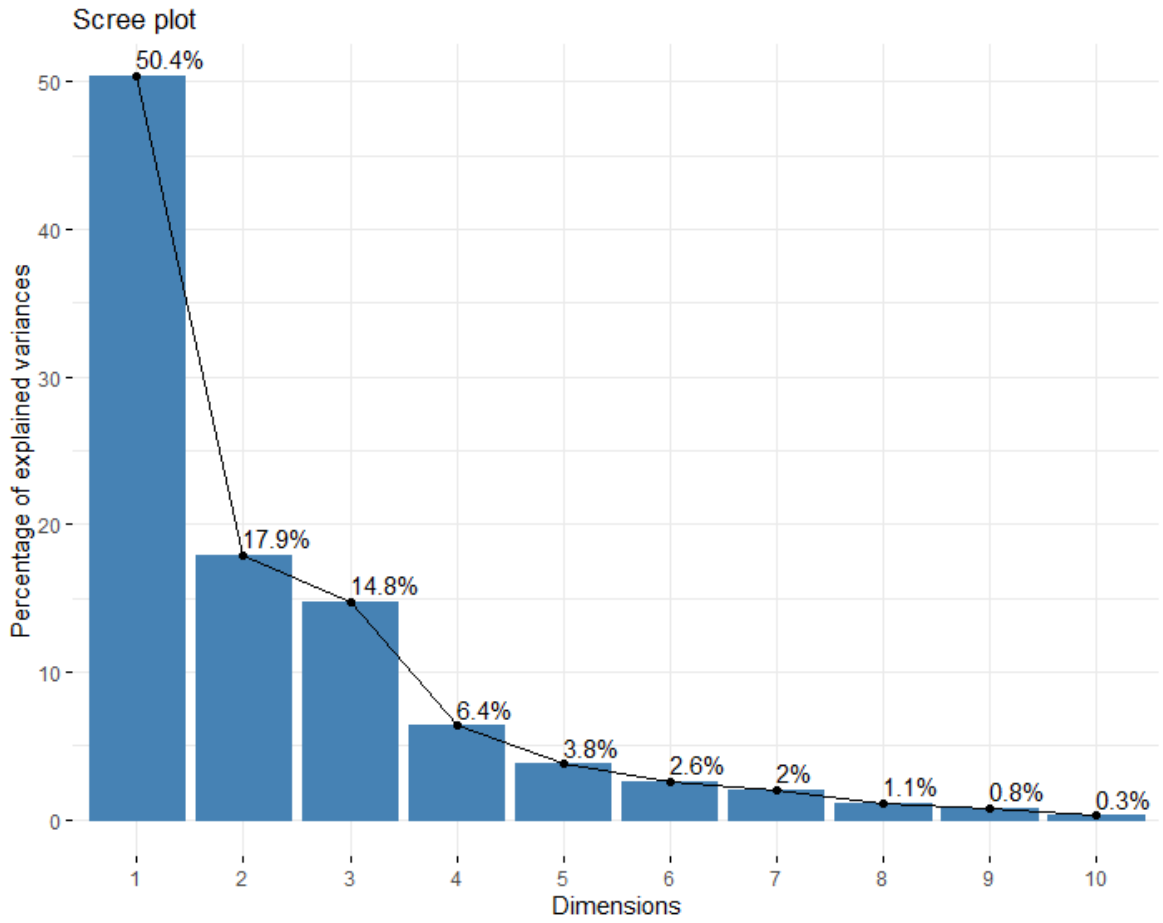


Fig. 4. Scree plot of eigenvalues in percentage

Dimensions 1 and 2 explain approximately **50.4%** and **17.9%** of the total inertia, respectively. This corresponds to a cumulative total of **68.3%** of the total inertia retained by the 2 dimensions. The higher the retention, the more subtlety contained in the original data is retained in the low-dimensional CA solution (M. Bendixen, 2003).

5 CONCLUSION

Our research focused on the Application of Correspondence Factor Analysis (CA) on data on the nutritional status of children under 5 years old, from January to December 2022, in the Democratic Republic of Congo.

The related data was reduced by obtaining a synthetic table or averaged table. The sample size ($\boldsymbol{n}$) is on average **4281453** Congolese children received in CPS during the months of January 2022 to December 2022, across the 26 health provinces of DR Congo, with 12 different CPS activities.

Also, the data were analyzed, visualized and interpreted, so that the CA results were obtained following the use of the different R. software packages, version 4.2.3. (2023-03-15 ucrt) in the following manner :

- Dimensions 1 and 2 explain respectively **50.4%** and **17.9%** of the total inertia. This corresponds to a cumulative total of **68.3%** of the total inertia retained by the 2 dimensions. The higher the retention, the more subtlety contained in the original data is retained in the low-dimensional CA solution (M. Bendixen, 2003).
- According to the chi-square test, the variables (modalities) of the rows and columns are statistically significantly associated.
- The p-value is less than **α=0.05**, which shows that there is a significant connection between the variables. Certainly, there is a dependency between the row and column modalities.
- The intensity of this association or this dependence is relatively weak in this specific case, because Cramer's **V** is **0.1.**
- The Contingency Coefficient (CC) is also low between the modalities. Or 0.316. Or approximately **31.6%.**
- The total inertia is **11.104.** All these indicators prove the weak connection between the row and column modalities.

REFERENCES

[1] Bendixen, M. (2003). "A Practical Guide to the Use of Correspondence Analysis in Marketing Research." Marketing Bulletin 14.
[2] Escofier, B., Pagès, J. (2008). Single and multiple factor analyses. Objectives, methods and interpretation, 4th Ed., Paris, Dunod, 328 p.
[3] Fénelon, J-P. (nineteen eighty one). What is data analysis ? Lefonen, Paris.
[4] Husson, F. (2018). R for statistics and data science, Rennes, PUR, 418 p.
[5] Kasmi, F.Z. (2019). Multivariate analysis and applications. Master's thesis, Abou-Bekr Belkaid University. Tlemcen.
[6] Larmarange, J. et Al. (2022). Analyze. Introduction to survey analysis with R and RStudio, Paris, 1403 p.
[7] Lebart, L., Piron, M., Morineau, A. (2006). Multidimensional Exploratory Statistics, Paris, Dunod, 464 p. (ISBN 978-2-10-049616-7).
[8] Sayl, Z. (2019-2020). Data analysis course. Level S6, Option : Economy, Ait Melloul, Morocco, 92 p.
[9] Shadboldt, N., Verdier, H. (2015-2016). Report of the Franco-British working group on the data economy. Franco-British TaskForce on innovation through data, Paris, 28 p.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1098-1108
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Role of Computational Biology in Oral Science

Deepak T.A.[1], Anulekha C.K.[2], Suchindra Suchindra[3], Avinash Tejasvi[4], and Mariyam Nadhira[5]

[1]Department of Oral Medicine and Radiology, V.S Dental College and Hospital, Bangalore, India

[2]Department of Prosthodontics, Crown and Bridge, Kameneni Institute of Dental Science, Narketpally, India

[3]Department of Engineering, National Institute of Mental Health and Neurosciences, Karnataka State Govt, Bangalore, India

[4]Department of Oral Medicine and Radiology, Kameneni Institute of Dental Science, Narketpally, India

[5]Department of Computer Science, The Maldives National University, Male, Maldives

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: DNA sequence Cigarette Smoking, Betel leaf chewing, and alcohol consumption are major cause of oral cancer in Asia. The difficulty in quitting, coupled with patients' economic conditions affects the inability to get diagnosed early, driving death rate higher. There has been major advancement in molecular sciences, computational biology, and other fields today, but we are not still able to pinpoint the causes of oral cancer, also known as Squamous Cell Carcinoma (OSCC). Early detection leads to better survival rate, therefore, education on yearly check-ups plays a vital role. Computational analysis at the genomic (DNA sequence) can help patients with targeted cellular treatment and hopefully a cure. In this paper, we would look at computation tools used in detecting OSCC and various analysis. Analysis includes detecting abnormality in the cell and other molecular reactions which later morph into a cancerous cell. Later, we investigate all computational tools or techniques from local and global sequence alignment, protein structure, gene, functional structure analysis which help medical staff detect cancer, which in turn can help with oral cancer treatment, prognosis and hopefully a cure.

KEYWORDS: Computational biology, Sequence alignment, Genomic analysis, Gene.

1 INTRODUCTION

Oral squamous cell carcinoma (OSCC) is one of the common types of cancer of head and neck squamous cell carcinoma (HNSCC) today accounting to 500,000 new cases diagnosed and approximately every 250000 deaths every year [1]. Its prevalence is different in different continents or places. the oral cancer is most prevalent in the Asian continent than in the industrialized, more informed western countries where it accounts for 1- 2% of the overall cancer [2]. Oral cancer mortality is highest in Asia unfortunately [3]. OSCC forms almost80 - 90% of all head and neck cancer in the Asian continent [3]. There are many factors which lead to the oral cancer in the western world, like smoking and alcohol [4].

In Asia, however, the consumption of local liquor, smokeless tobacco and cigarettes with no filters are the leading cause of oral cancer [5]. Gene mutation and the activation of certain genes in the cell are seen as early stage of oral cancer but it is not yet proved categorically [6], [7]. OSCC is commonly seen in elderly males in the larynx and lips area, accounting to almost 95% of the region [8]. With a 50% survival rate after detection [7], the need to develop newer tools and technologies for early faster detection is greater today [3]. In the next section, we will be talking about the role of computational biology or bioinformatics in diagnosis, and treatment of OSCC.

Corresponding Author: Suchindra Suchindra

2 COMPUTATIONAL BIOLOGY

Computational biology or Bioinformatics is a field which encompasses both biology and computer science. This field provides various tools in storing big data sometimes running into petabytes of data stored in databases, and efficiently retrieving the data from the database to establish a relation, provide a 3d structural analysis of proteins and today throws light on the cellular functionality in a much deeper level than what it was prior. This is truer after the genome project was started in the early 1990's which exploded the amount of data stored [9]. The field can also be viewed as a field which brings more analytical power, which in turn would make biological data analysis easier production more biological knowledge [10], [11].

In other words, Computational biology enables scientists to go through huge data easily, finding useful encoded gene segments (for example, a human genome is 3 billion characters in length, a gene could be 100k character in length) [12]. This information is then used in targeted therapy and pharmaceuticals to develop targeted drugs. One of the most pervasive uses of genome sequencing is used to find hereditary relationships and what ethnicity make is one made up of, also known as DNA test / DNA paternity test.

Bioinformatics should not be mistaken to only confined to DNA or genome research augmented study, but it is field which touches a medical science including Molecular Sciences, Drug development, nursing, oral medicine, and other associated fields augmented with pure computer science, biostatistics, and information sciences like State health Care systems or Hospital management systems [9], [13].

Computational biology involves developing new data structures, algorithms using either newer and efficient data structures or underpinning hardware coupled with new algorithms to efficiently store new data in the databases, or efficiently retrieve biological relevant data from a huge database. These involve and can vary depending on the algorithm, data mining techniques and visualization or image processing algorithms based off the known biological data from the biologist and lab technicians. Some of the biological niches today are in sequence alignment tools (local and global), multiple sequence alignments, genome development, Gene alignment, protein structure (2D and 3D image development), phylogenetic tree development, and prediction like protein – protein interactions and gene expression. Most of these predictions are based off existing prediction models which are modified based on the known biological knowledge from researchers over the years [14].

3 COMPUTATIONAL BIOLOGY IN ORAL SCIENCE

Oral Science computational biology is a niche field inside Bioinformatics as it is now catering to only head and neck although it still touches upon other molecular sciences like Genome, Gene expression, protein expression, Protein structure and Sequencing methods. Sequencing and Gene sequencing is probably more useful to dentist today than any other bioinformatic tool. Oral science tools will be discussed in detail in the subsequent sections.

Today MEDLINE (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online) houses large number of published articles on health. MEDLINE also houses bibliographic information on articles ranging from oral science, general medicine, nursing, general health care, and veterinary science. It is an open source, and most articles can be searched through PubMed. Like MEDLINE [9], there is Latin American one, called The Literature Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (in Portuguese), or LILACS which was called previously called Latin American Index Medicus. There is one other website which is called 'Medscape' which provides health science information for clinicians and medical scientists. Medscape provides education to health care practitioners including dentists and nurses (other health care professionals) [15]. The primary goal of any oral computational biologists is to improve oral care, which includes better and efficient diagnosis, treatment and prevention of disease and maintain overall good oral health. In regions like Asia, where one needs to see the economical angle, Oral computational biology should also strive to delivery cost effective oral care at the same time [16]. Today, we see that, oral science practitioners and scientists are using new technologies which have come out of this fusion between oral / health science and computer science [17].

Oral science pathology is one of the streams of many including orthodontics, periodontics, and others. Oral Pathology is a specialty mostly dealing with the diagnosis and understanding the causes of diseases related to head and necks, jaws, and face overall. Oral pathology is not limited to above said areas but also includes supporting bone, joints gums, tongue, and surrounding tissues. Knowledge of the above is acquired by learnt methods and disciplines which are basic to oral science practice, through microscopic anatomy, microbiology, and physiology, either through literature or knowledge acquired over a period while practicing dentistry on patients. Oral Pathology uses human science best practices, tools, and computational algorithms to diagnose and treat any diseases or abnormalities in the region [18]. Oral pathology especially in Asian, more so in South Asia, takes into consideration current and pass history coupled with diet, hygiene practice, economic condition, and lifestyle risks like smoking, areca nut chewing, alcohol consumption and recently fad called 'vaping' [9].

The abnormalities seen today are mouth sore that fails to heal or bleeds, to reddish and whitish patches inside the mouth, a lump which is growing quickly and thickening, sore throat leading to difficulty in chewing or swallowing. All the said abnormalities could be seen inside the mouth, face, or neck. Such abnormalities could be diagnosed as oral cancer, cysts, tumour (both benign or malignant), salivary gland abnormalities or cancer (benign or malignant) or simple diseases or lesions. Over the years, large data and literature have been published with varying sites, varieties of above said abnormalities. Today with the advent of projects like the Genome project [9], oral pathology and computational biology are converging ever so closely and working towards automated, efficient, and better way to diagnose pathology at the early stages before they turn life threatening thereby increasing the chances of survival or in other cases, improving the lifestyle of the patient.

4 COMPUTATIONAL TOOLS IN ORAL SCIENCE

In this section, we would look at the computational tools available at the oral professional disposal.

4.1 ORAL CANCER DIAGNOSIS

Among head of neck squamous cell carcinoma, oral cancer is most common. It is most prevalent in the males, and we see oral cancer making up to 7% of all cancers in Asia especially in south Asia. The cause for this high rate has been discussed earlier. Oral cancer if detected at an early stage improves the chances of the patient returning back to normal life quickly perhaps with a permanent cure [19] Unfortunately, when the patient presents themself for an examination, more than likely, the cancer would have spread to other regions and lymph nodes and there is very little a practitioner could do to the patient [20]. Hence yearly check-ups are advised. Sometimes, the lesions found in the mouth are not easily discernible to experienced practitioner leading to false diagnosis. Although some lesions are detected, the similarities in benign and malignant is very high leading to poor and false diagnosis [21].

OralCDx which is a brush biopsy method developed in early 1950s was successful in detecting oral cancer using computer assisted sample analysis. The biopsy collects 3 layers of cell epithelium of the oral mucus for better results. The biopsy sample is stained with Papanicolaou tint [22], it is then scanned and analysed microscopically with the help of computer which contains an image database containing different stages of abnormal cell morphology [23]. This computer program is powerful enough to detect abnormal cells among thousands of normal cells [22]. Once the computer prints the data of its analysis, a cytopathologist interprets this analysed data and classifies the sample to atypical (uncertain diagnosis), positive for oral cancer, normal cells, and incomplete sample [24].

To reduce the false negative finding, many attempts were made to the improve the analysis of the application. However, it was tuned to present day success by incorporating neural network computers initially developed for the missile defence [9]. This improved the application's ability to search for abnormal cell from its database and printed out a detailed data for the cytopathologist to interpret this detailed data in an efficient way there by reducing the chances of overlooking any abnormal cells today.

4.2 GENOME RESEARCH

Genome is defined as the entire genetic markup of an organism or sum of all genes excluding the part of the DNA which we have still not understood [25]. It can also be looked upon as a blueprint for all cellular activities including the protein structure, the region where the gene is expressed inside each cell. This blueprint contains entire set of instructions for new cell creation, construction, operation, maintenance, and repair in an organism [26]. In 2003, human genome project was initiated with a n objective to obtain and study genes, its structure and interactions amongst the genes [9]. Other genome projects were started much earlier like the Drosophila genome, which is comparatively shorter than the human genome which runs to 3 billion characters in length. All genome projects were initiated with a goal to diagnose and prevent diseases. Genome should not be confused with genetics which is a study of genes in an organism.

With new genomic discoveries, researchers and clinicians are throwing more light into our understanding of oral science. These new discoveries coupled with faster computer which are assembled to a supercomputer are helping us understand the oral and dental diseases like never before. Precision diagnostic tools, procedures, tests with new practical based research are throwing new research vectors providing novel avenues to diagnose, treatment (drug discovery) and improve the oral health.

Head and Neck Squamous Cell Carcinoma (HNSCC) is a disease with complex gene alterations, where some genes are mutated with an additional protein character or removed from the position in the gene (An indent '-' is associated when a protein is missing from its known location in a mutated gene). HNSS Tumors associated with human papillomavirus infection have a genetic profile different from the tumors associated with excessive tobacco usage [27. CCND1 gene is associated with

oral Squamous cell carcinoma [32]. Overexpression of this CCND1 is a sure sign of aggressive nature, and early recurrence [32]. Over expression has also indicator of the overall effectiveness of radio [28,29] Erb B complex is a cell cycle signaling gene and its overexpression is an indicator for OSCC [30].

Human cells contain tumor suppressor gene and one such gene is PTEN, if absent is the indicator to the SCC. Others include the growth factor MET oncogene. High expression of epithelial proactive cell nuclear antigen (PCNA) is an indicator for poor survival rate and prognosis [30]. Other genes like UGT1A7, GSTMI, GSTT1 and CYP1A1 over expression is most seen in the smoking and tobacco users [31]. Ever since the genome projects started in the early 1990s coupled with the human genome project in 2003, huge amount of data is collected in either full genome sequences which in a human can run up to 3 billion characters in length to smaller sequences of few hundred thousand like drosophila.

Walter Goad and his colleagues were the first to assemble a DNA Sequence Database in their lab at Los Alamos National Library (LANL) which later came to be known as GenBank [58], [9]. European equivalent was later developed, and it is housed in Germany, called EMBL (European Molecular Biology Laboratory) [58]. Japanese who were the first pioneers for genome research always had their own database called the DNA Databank of Japan at Mishima. Today, all these three have collaborated and formed a global International Nucleotide Sequence Database which is where every technician would go from Genome, protein, or genes [9].

4.3 PROTEOMICS AND COMPUTATIONAL SCIENCE

Proteomics is a new word which is commonly used today, but it was first used I the Therapeutic field. The world Proteome was coined by Marc Wilkins in 1995 [33]. Ever since then, the word 'omics' is attached to anything related to protein and its study. Proteomics is little different from genomics in that, a genome study is about genetic markup or a blueprint for all genes, proteins, and all cellular activity, while proteomics is a study of protein, its structure, expression, and its interaction [9]. All the three, are complex because they all depend on the organism need, time, and environmental conditions [34]. A human genome contains code to about 26000 - 32000 proteins [35], but the number of proteins expressed inside our body is about 1 million.

Today there are many procedures inside proteomics ranging from one and two -dimensional gel electrophoresis [36]. gel-free screening technique called multidimensional protein identification. methods [37], isotope labelling with amino acids [38], isotope-coded tags, isobaric tags, and their quantitation [39]. There are other methods like shotgun-proteomics [40], gel electrophoresis [41] and microarray for proteins [42], all these techniques or procedures can be used on cells, tissues, and organs [9]. Today, Large-scale western blot assays [43] and multiple reaction monitoring assays [44], are used for high-throughput processing and it is a throwing new light in our understanding of protein interaction, protein synthesis and protein culture.

Table 1. Protein Structure Databases [58]

Tools	Tool Used for
InterProScan	Used for Protein functional analysis
PfamScan	FASTA sequence searching against Pfam library
HMMER3	Used for searching one or more sequence against a sequence database
Hmmscan	Search other sequences against collection of profiles
Phobius	Transmembrane topology and signal peptides prediction [58]
RADAR	Protein sequence alignment

Computational biology or algorithms are used in the proteomics domain mainly to manage, store, retrieve markers [45]. These markers could be from DNA sequences or genes or proteins [45]. The algorithms collect and hold massive amount of data sometimes in petabytes and are effective to bridging the gaps between other streams like genomics, metabolism, and protein synthesis. This entire process of providing an association between various niche fields which are closely related (genome, genes, proteins, metabolism, and synthesis) is a computational costly process.

By costly, we mean, computer intensive process, lately proteomics has moved on to heuristics rather than dynamic programming algorithms. We will talk about these in detail in the sequence alignment algorithm section. The algorithms effectiveness in terms of sensitivity and making good biological sense is exacerbated by different parameters, the definition of quality and sensitivity definition and the standard data formats. In other words, there is no standard yet when it comes what makes an algorithm effective and what is the standard data on which algorithms are compared with [46]. A collection of reactions inside the cell that have a biological impact are called protein pathways [47], there are many tools to determine these

pathways today [47]. Some of the databases are in place today such are Kyoto Encyclopedia on Genes and Genomes, BioCarta, pathway Reactome and Ingenuity are some of the databases which have knowledge on cell reactions, metabolism, and cell - cell interactions, protein synthesis and protein - protein interaction [48, 49]. PANTHER is another database, which concentrates more on protein analysis based off the evolutionary relationship. This database also works on genomes to extract these relationships [50, 51]. Cancer related pathways and their detection are stored in a database called Netpath [52]. other protein interaction information is stored in BIOGRID and MINT [53, 53, 54, 55]. Most of this information are extracted using sequence format [56, 57], which we will talk later in this paper. Table 1 shows a collection of databases concentrating on structure analysis.

Table 2. Protein Structure Tools [58]

Tools	Description
PyMOL	Viewer and modelling
ERRAT	Verification and evaluation
PROCHECK	A structure validation web server
Swiss model	Homology modeling of a protein whose structure was unknown
RAMPAGE	Examine the quality of protein structure

Protein structure prediction and their classification is used as a tool for predicting OSCC today. To classify and prediction protein structure, well know knowledge base in the form all know protein structures for an organism is developed and stored [45]. Protein data bank (PDB) is one database which houses proteins, DNA and RNAs in a 3D format. Once OSCC is detected, the conforming proteins can then be examined, analysed and either targeted treatment or drug discovery could then be made. Typically, these methods are either NMR Spectroscopy, X-Ray Spectroscopy or Cryoelectronic microscopy [51]. Structural tools are shown in Table 2.

4.4 MICRO ARRAYS

Microarray is a tool which provides a platform to measure the expression of large set of genes simultaneously. It helps in identification of Single-nucleotide polymorphisms (SNPs), Mutations, tumor classification, target genes to suppress tumor, biomarkers, and identification of genes with chemoresistance. All these help in customized drug treatment and drug discovery [9]. A Microarray can be seen as a circuit made up of thousands of microchips, with each chip containing a short, DNA sequences which together would add up to a normal gene and its variants in human population [9], [59]. These microchips are not as advanced as to create their own memory operations like mutual exclusion or locking [94]

When the Microarray were first developed, there were primarily used for research to identify anomalies in Individuals. As time progressed and enough data collected using manual method, Microarray were used later to find how often a mutation in a particular gene would end up with a oral cancer [59]. Regions where the mutation were seen in a gene were later correlated with oral diseases, Tumor (Benign or Malignant) classification or other oral diseases. As computer became powerful both in terms processing power and memory, large features and large portion of the genome were placed in each individual chip thus enabling many types of genes mutations [3]. Microarrays are also used today to study which gene is turned on or off inside each cell in an organism. They are also used to isolate RNA from the samples for measurement [59].

Microarrays find their usefulness in the labs for clinical testing of diseases such as COVID [59]. As a result of their usefulness in determining the gene mutations, they are used to develop customized drug for patients, as genes determine how organisms can react to certain chemical drugs developed [59]. Microarrays are quickly fading away because of faster, efficient sequencing algorithms which are still costlier than Microarray technology [9].

4.5 SEQUENCE ALIGNMENT

A sequence in molecular or genome research could be either a DNA, RNA, or protein sequence [60]. These sequences are made up of amino acid representing characters. A protein sequence is made up of strings of character (A, R, N, D, C, Q, E, G, H, I, L, K, M, F, P, S, T, W, Y, V). Similarly, DNA (A, C, G, T) and RNA (A, C, G, U) [61]. Sequence alignment is a very old paradigm in the microbiology, where the objective is to find regions of similarity between either 2 pair of sequences or multiple sequences. These similar regions can be analysed later, to determine the similar genes, protein structure and other information leading to drug discovery and treatment [60], [62].

Early research depended on manual efforts to align or find regions of similarity between two sequences. Further research classified pairwise sequencing into local and global sequencing. Local sequence alignment is when regions in short burst are aligned together whereas global sequence alignment is interested in finding all regions of similarity in the entire sequence (DNA, RNA, or protein). Two early algorithms developed in 1970s and 1980s using a technique called dynamic programming, they are Smith-Waterman and Needleman (local alignment) and Wunsch algorithms (global alignment) [63], [64]. The drawback of Dynamic Programming algorithms was that they were very slow. To overcome tis shortfall, Heuristic algorithms were developed. Some of the local heuristic-based algorithms are FASTA [65], BLAST [66], Gapped BLAST [67], BLAT [68], BLASTZ [69], and PatternHunter [70]. Similarly, popular heuristic based global sequence alignment algorithms are MUMmer [71], GLASS [72], AVID [73], and LAGAN [74].

To quantify the alignment in heuristic algorithms, a scoring function is used. When characters in each sequence match or mismatches, a score is given to that character alignment. A scoring function was developed for aligned of pairs of characters, then scores of aligned pairs of characters together were added to get the final sequence alignment score [60]. A scoring matric was later developed, which is a n * n matrix in which each corresponding base pair has a score [75]. PAM (Percentage of Acceptable point Mutations per 108 years) series of matrices [76], [77] and BLOSUM (BLOcks SUbstitution Matrix) series of matrices [78] are popular scoring matrices. All heuristic algorithms use three techniques to find the final alignment, they are look-up table, short alignment of length from 8 – 15, called seeds and finally maximum match subsequence. The look up tables are used by FASTA and BLAST family. Seeds and their variety are used by BLAT, PatternHunter, Glass, AVID [60-63]. Maximal match subsequence which are a new technique was introduced in LAGAN, and MASAA family [61, 62, 63, 92, 93].

BLAST, LAGAN and MASAA family are currently the most effective of the alignment algorithms as they are fast (BLAST) or relatively and sensitive (LAGAN and MASAA family). LAGAN and MASAA variants use different techniques, data structures and stitching techniques to arrive at the final alignment. All the above 3 algorithms are used in our labs to find local and global alignments. Pairwise alignment can be used to find multiple sequence alignment. Initial multiple sequence alignment started with pairwise alignment and progressive moved to other sequences building a guide tree [79] and creating an unwanted pair group with arithmetic mean [80]. Guide tree is used to dictate how multiple sequence alignment would progress. Closely related sequences are aligned first and once there are all done, divergent sequences are then aligned on top of them. This process is called progressive multiple alignment method. ClustalW [81], MAFFT [82], Kalign [83], Probalign [84], MUSCLE [85], DIALIGN [86], PRANK [87], FSA [88], T – Coffee [89, 90], and Probcons [91] are use progressive methods. The other method is iterative method, as the name implies, the algorithm repeatedly applies Dynamic programming on an already sequenced pair to eliminate errors [96, 97].

Pairwise sequence alignment is used to detect chronic diseases like COVID - 9, oral diseases from benign to Malignant [60] and multiple sequence alignment together are used for protein structure prediction, protein-protein interaction, predicting cellular regions where genes would be expressed, Phylogenetics trees (DNA make up, paternity tests). Today artificial intelligence (AI) is also helping sequencing algorithms to predict tumour growth, or mutations in the head and neck regions [95].

5 CONCLUSION

Computational biology has played a pivotal role in our understanding and treatment of oral science. The potential to quickly diagnosis a benign tumour to malignant is not far from way with the way computation biology is progressing today. There are certain fields which may go extinct as time progresses, Microarrays is one of them. Currently the only advantage it has versus sequencing algorithms is the cost. When more commercial sequencing algorithms come into the field, the cost would dramatically come down. Genomics and proteomics will be the future as genes, and their expression (depends on the region, need and environment) is not fully understood. To understand more in detail, we need to convert huge amount of data into knowledge, this means computational ideas, computer hardware and techniques. The future is bright for drug discovery, customized treatment (gene therapy [98]) and a combination of new cellular discovery knowledge and computational prediction model would unlock better results which perhaps might lead to oral cancer / cancer cure.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank NIMHANS and their respective universities.

REFERENCES

[1] Capparuccia L, Tamagnone L: Semaphorin signaling in cancer cells and in cells of the tumor microenvironment--two sides of a coin. J Cell Sci. 2009; 122 (Pt 11): 1723–36. 10.1242/jcs.030197.

[2] Joshi P, Dutta S, Chaturvedi P, et al.: Head and neck cancers in developing countries. Rambam Maimonides Med J. 2014; 5 (2): e0009. 10.5041/RMMJ.10143.

[3] Al-Jaber A, Al-Nasser L, El-Metwally A: Epidemiology of oral cancer in Arab countries. Saudi Med J. 2016; 37 (3): 249–55. 10.15537/smj.2016.3.11388.

[4] Raham S, Dayal H, Rohrer T, et al.: Dentition, diet, tobacco, and alcohol in the epidemiology of oral cancer. J Natl Cancer Inst. 1977; 59 (6): 1611–8. 10.1093/jnci/59.6.1611.

[5] Muttagi SS, Chaturvedi P, Gaikwad R, et al.: Head and neck squamous cell carcinoma in chronic areca nut chewing Indian women: Case series and review of literature. Indian J Med Paediatr Oncol. 2012; 33 (1): 32–5. 10.4103/0971-5851.96966.

[6] Krishna A, Singh S, Kumar V, et al.: Molecular concept in human oral cancer. Natl J Maxillofac Surg. 2015; 6 (1): 9–15. 10.4103/0975-5950.168235.

[7] Neville BW, Damm DD, Allen CM, et al.: Oral and maxillofacial pathology. St. Louis, Mo: Saunders/Elsevier.2009.

[8] Weatherspoon DJ, Chattopadhyay A, Boroumand S, et al.: Oral cavity and oropharyngeal cancer incidence trends and disparities in the United States: 2000-2010. Cancer Epidemiol. 2015; 39 (4): 497–504. 10.1016/j.canep.2015.04.007

[9] Singaraju S, Prasad H, Singaraju M. Evolution of dental informatics as a major research tool in oral pathology. J Oral Maxillofac Pathol. 2012 Jan; 16 (1): 83-7. doi: 10.4103/0973-029X.92979. PMID: 22434944; PMCID: PMC3303529.

[10] Westhead DR, Parish JH, Twyman RM. Bioinformatics. 1st ed. UK: BIOS Scientific Publishers Limited; 2003.

[11] Hwa A Lim. Genetically yours: Bioinforming, biopharming, and biofarming. New Jersey: Word Scientific Publishing Co; 2002. p. 273-95.

[12] Srivastava. Introduction to bioinformatics. 1st ed. India: Shree Publications; 2007.

[13] Bansal M. Medical informatics: A primer. 1st ed. India: Tata Mcgraw-Hill; 2003.

[14] Rao VS, Das SK, Rao VJ, Srinubabu G. Recent developments in life sciences research: Role of bioinformatics. Afr J Biotechnol 2008: 7; 495-503.

[15] White SC. Decision-support systems in dentistry. J Dent Educ 1996; 60: 47-63.

[16] Kalkwarf KL. How the licensure process will evolve. J Am Dent Assoc 1999; 130: 1737-42.

[17] Schleyer TK, Forrest JL, Kenney R, Dodell DS, Dovgy NA. Is the Internet useful for clinical practice? J Am Dent Assoc 1999; 130: 1501-11.

[18] Rajendran R, Sivapathasundaram B. Shafer's Textbook of Oral Pathology. 6th ed. India; Elsevier; 2009.

[19] National Cancer Institute. Cancer statistics review, 1973-1990. Bethesda, Md.: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health; DHHS publication (NIH) 93-2789; 1993.

[20] Silverman S. American Cancer Society. Oral cancer. Hamilton, Ontario, Canada: B.C. Decker; 1998: xvi, 174.

[21] Silverman S Jr. Early diagnosis of oral cancer. Cancer 1988; 62 (8 Suppl): 1796-9.

[22] Sciubba JJ. Improving detection of precancerous and cancerous oral lesions. Computer-assisted analysis of the oral brush biopsy. U.S. Collaborative OralCDx Study Group. J Am Dent Assoc. 1999; 130: 1445–1457.

[23] Patton LL, Epstein JB, Kerr AR. Adjunctive techniques for oral cancer examination and lesion diagnosis: a systematic review of the literature. J Am Dent Assoc. 2008; 139: 896–905.

[24] Scheifele C, Schmidt-Westhausen AM, Dietrich T, Reichart PA. The sensitivity and specificity of the OralCDx technique: evaluation of 103 cases. Oral Oncol. 2004; 40: 824–828.

[25] Little PF. Structure and function of the human genome. Genome Res 2005; 15: 1759-66.5.

[26] Yeager AL. Where will the genome lead us? Dentistry in the21st century. J Am Dent Assoc 2001; 132: 801-7.

[27] Stransky N, Egloff AM, Tward AD, Kostic AD, Cibulskis K, Sivachenko A, et al. The mutational landscape of head and necksquamous cell carcinoma. Science 2011; 333: 1157-60.29.

[28] Huang M, Spitz MR, Gu J, Lee JJ, Lin J, Lippman SM, et al. CyclinD1 gene polymorphism as a risk factor for oral premalignant lesions. Carcinogenesis 2006; 27: 2034-7.30.

[29] Shintani S, Mihara M, Ueyama Y, Matsumura T, Wong DT.Cyclin D1 overexpression associates with radiosensitivity in oralsquamous cell carcinoma. Int J Cancer 2001; 96: 159-65.31.

[30] Aswini YB. The genomics of oral cancer and wound healing.J Indian Soc Pedod Prev Dent 2009; 27: 2-5.32.

[31] Pavanello S, Clonfero E. Biological indicators ofgenotoxic risk and metabolic polymorphisms. Mutat Res2000; 463: 285-308.

[32] Govindraju, Poornima & Chandra, Poornima. (2015). Implications of genomics in oral health. Journal of Advanced Clinical & Research Insights. 2. 147-150. 10.15713/ins.jcri.65.

[33] Agrawal GK, Sarkar A, Righetti PG, Pedreschi R, Carpentier S, Wang T, Barkla BJ, Kohli A, Ndimba BK, Bykova NV, Rampitsch C, Zolla L, Rafudeen MS, Cramer R, Bindschedler LV, Tsakirpaloglou N, Ndimba RJ, Farrant JM, Renaut J, Job D, Kikuchi S,

Rakwal R. A decade of plant proteomics and mass spectrometry: translation of technical advancements to food security and safety issues. Mass Spectrom Rev. 2013; 32: 335–365.
[34] Holman JD, Dasari S, Tabb DL. Informatics of protein and posttranslational modification detection via shotgun proteomics. Methods Mol Biol. 2013; 1002: 167–179.
[35] Chandramouli K, Qian PY. Proteomics: challenges, techniques and possibilities to overcome biological sample complexity. Hum Genomics Proteomics. 2009; 2009.
[36] Vercauteren FG, Bergeron JJ, Vandesande F, Arckens L, Quirion R. Proteomic approaches in brain research and neuropharmacology. Eur J Pharmacol. 2004; 500: 385–398.
[37] Florens L, Washburn MP. Proteomic analysis by multidimensional protein identification technology. Methods Mol Biol. 2006; 328: 159–175.
[38] Ong SE, Blagoev B, Kratchmarova I, Kristensen DB, Steen H, Pandey A, Mann M. Stable isotope labeling by amino acids in cell culture, SILAC, as a simple and accurate approach to expression proteomics. Mol Cell Proteomics. 2002; 1: 376–386.
[39] Ross PL, Huang YN, Marchese JN, Williamson B, Parker K, Hattan S, Khainovski N, Pillai S, Dey S, Daniels S, Purkayastha S, Juhasz P, Martin S, Bartlet-Jones M, He F, Jacobson A, Pappin DJ. Multiplexed protein quantitation in Saccharomyces cerevisiae using amine-reactive isobaric tagging reagents. Mol Cell Proteomics. 2004; 3: 1154–1169.
[40] Wolters DA, Washburn MP, Yates JR 3rd. An automated multidimensional protein identification technology for shotgun proteomics. Anal Chem. 2001; 73: 5683–5690.
[41] Klose J, Nock C, Herrmann M, Stühler K, Marcus K, Blüggel M, Krause E, Schalkwyk LC, Rastan S, Brown SD, Büssow K, Himmelbauer H, Lehrach H. Genetic analysis of the mouse brain proteome. Nat Genet. 2002; 30: 385–393.
[42] Cutler P. Protein arrays: the current state-of-the-art. Proteomics. 2003; 3: 3–18.
[43] Schulz TC, Swistowska AM, Liu Y, Swistowski A, Palmarini G, Brimble SN, Sherrer E, Robins AJ, Rao MS, Zeng X. A large-scale proteomic analysis of human embryonic stem cells. BMC Genomics. 2007; 8: 478.
[44] Stahl-Zeng J, Lange V, Ossola R, Eckhardt K, Krek W, Aebersold R, Domon B. High sensitivity detection of plasma proteins by multiple reaction monitoring of N-glycosites. Mol Cell Proteomics. 2007; 6: 1809–1817.
[45] Vihinen M. Bioinformatics in proteomics. Biomol Eng. 2001; 18: 241–248.
[46] Domon B, Aebersold R. Challenges and opportunities in proteomics data analysis. Mol Cell Proteomics. 2006; 5: 1921–1926.
[47] Aslam B, Basit M, Nisar MA, Khurshid M, Rasool MH. Proteomics: Technologies and Their Applications. J Chromatogr Sci. 2017; 55: 182–196.
[48] Croft D, O'Kelly G, Wu G, Haw R, Gillespie M, Matthews L, Caudy M, Garapati P, Gopinath G, Jassal B, Jupe S, Kalatskaya I, Mahajan S, May B, Ndegwa N, Schmidt E, Shamovsky V, Yung C, Birney E, Hermjakob H, D'Eustachio P, Stein L. Reactome: a database of reactions, pathways and biological processes. Nucleic Acids Res. 2011; 39: D691–D697.
[49] Kanehisa M, Goto S, Sato Y, Furumichi M, Tanabe M. KEGG for integration and interpretation of large-scale molecular data sets. Nucleic Acids Res. 2012; 40: D109–D114.
[50] Mi H, Guo N, Kejariwal A, Thomas PD. PANTHER version 6: protein sequence and function evolution data with expanded representation of biological pathways. Nucleic Acids Res. 2007; 35: D247–D252.
[51] Schaefer CF, Anthony K, Krupa S, Buchoff J, Day M, Hannay T, Buetow KH. PID: the Pathway Interaction Database. Nucleic Acids Res. 2009; 37: D674–D679.
[52] Kandasamy K, Mohan SS, Raju R, Keerthikumar S, Kumar GS, Venugopal AK, Telikicherla D, Navarro JD, Mathivanan S, Pecquet C, Gollapudi SK, Tattikota SG, Mohan S, Padhukasahasram H, Subbannayya Y, Goel R, Jacob HK, Zhong J, Sekhar R, Nanjappa V, Balakrishnan L, Subbaiah R, Ramachandra YL, Rahiman BA, Prasad TS, Lin JX, Houtman JC, Desiderio S, Renauld JC, Constantinescu SN, Ohara O, Hirano T, Kubo M, Singh S, Khatri P, Draghici S, Bader GD, Sander C, Leonard WJ, Pandey A. NetPath: a public resource of curated signal transduction pathways. Genome Biol. 2010; 11: R3.
[53] Schmidt A, Forne I, Imhof A. Bioinformatic analysis of proteomics data. BMC Syst Biol. 2014; 8 Suppl 2: S3.
[54] Chatr-aryamontri A, Ceol A, Palazzi LM, Nardelli G, Schneider MV, Castagnoli L, Cesareni G. MINT: the Molecular INTeraction database. Nucleic Acids Res. 2007; 35: D572–D574.
[55] Kerrien S, Aranda B, Breuza L, Bridge A, Broackes-Carter F, Chen C, Duesbury M, Dumousseau M, Feuermann M, Hinz U, Jandrasits C, Jimenez RC, Khadake J, Mahadevan U, Masson P, Pedruzzi I, Pfeiffenberger E, Porras P, Raghunath A, Roechert B, Orchard S, Hermjakob H. The IntAct molecular interaction database in 2012. Nucleic Acids Res. 2012; 40: D841–D846.
[56] Franceschini A, Szklarczyk D, Frankild S, Kuhn M, Simonovic M, Roth A, Lin J, Minguez P, Bork P, von Mering C, Jensen LJ. STRING v9.1: protein-protein interaction networks, with increased coverage and integration. Nucleic Acids Res. 2013; 41: D808–D815.
[57] Glaab E, Baudot A, Krasnogor N, Schneider R, Valencia A. EnrichNet: network-based gene set enrichment analysis. Bioinformatics. 2012; 28: i451–i457.

[58] Rath, Sonali & Das, Moumita & Kar, Dattatreya & Goel, Ruchi. (2021). Computational Genomic Analysis of Oral Squamous Cell Carcinoma - A New Diagnostic Approach. 13. 85-90. 10.31782/IJCRR.2021.SP247.
[59] https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/DNA-Microarray-Technology.
[60] Reddy, Bharath Govinda. Multiple Anchor Staged Local Sequence Alignment Algorithm-MASAA. Diss. The University of Northern British Columbia, 2009.
[61] Waqar Haque, Alex Aravind, and Bharath Reddy. 2009. Pairwise sequence alignment algorithms: a survey. In Proceedings of the 2009 conference on Information Science, Technology and Applications (ISTA '09). ACM, New York, NY, USA, 96-103. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1551950.1551980.
[62] Haque, W., Aravind, A., & Reddy, B. (2008, August). An efficient algorithm for local sequence alignment. In 2008 30th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (pp. 1367-1372). IEEE.
[63] Smith, T.F. and Waterman, M.S. 1981. Identification of common molecular subsequences. J. Mol. Biol. 147: 195-197.
[64] Needleman, S.B. and Wunsch, C.D. 1970. A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins. J. Mol. Biol. 48: 443-453.
[65] D. J. Lipman and W. R. Pearson, «Rapid and Sensitive Protein Similarity Searches,» Science, vol. 227, pp. 1435-1441, 1985.
[66] S. F. Itschul, W. Gish, W. Miller, E. W. Myers, and D. J. Lipman, «Basic Local Alignment Search Tool,» J. Molecular Biology, vol. 215, pp. 403-410, 1990.
[67] S. F. Altschul, et al., «Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs,» Nucleic Acids Res., vol. 25, pp. 3389-3402, Sep. 1997.
[68] W. J. Kent, «BLAT—The BLAST-Like Alignment Tool,» Genome Research, vol. 12, pp. 656-664, 2002.
[69] S. Schwartz, et al., «Human–Mouse Alignments with BLASTZ,» Genome Research, vol. 13, pp. 103-107, 2003.
[70] B. Ma, J. Tromp, and M. Li, «Pattern-hunter: faster and more sensitive homology search,» Bioinformatics, vol. 18, pp. 440-445, 2002.
[71] A. L. Delcher, et al., «Alignment of whole genomes,» Nucl. Acids Research, vol. 27, pp. 2369-2376, 1999.
[72] L. Batzoglou, J. Pachter, B. Mesirov, B. Berger, and E. S. Lander, «Human and mouse gene structure: comparative analysis and application to exon prediction,» in RECOMB '00: Proc of the 4th Int'l Conference on Computational Molecular Biology, 2000, pp. 46-53.
[73] N. Bray, I. Dubchak, and L. Pachter, «AVID: A Global Alignment Program,» Genome Research, vol. 13, pp. 97-102, 2003.
[74] M. Brudno and B. Morgenstern, «Fast and sensitive alignment of large genomic sequences,» in Proc of IEEE Computer Science Bioinformatics Conference, 2002, pp. 138-147.
[75] Pittsburgh Supercomputing Center. (2007)
[Online]. http://www.psc.edu/research/biomed/homologous/ scoring_primer.html.
[76] D. J. States, W. Gish, and S. F. Altschul, «Improved Sensitivity of Nucleic Acid Database Search Using Application-Specific Scoring Matrices,» METHODS: A Companion to Methods in Enzymology, vol. 3, no. 1, pp. 66-70, 1991.
[77] M. O. Dayhoff, R. M. Schwartz, and B. C. Orcutt, «A Model of Evolutionary Change in Proteins,» in Atlas of Protein Sequence Structure Nat'l Biomedical Res., M. O. Dayhoff, Ed. 1978, ch. 5, pp. 345-352.
[78] S. Henikof and J. G. Henikof, «Amino acid substitution matrices from protein blocks,» in Proc Natl Acad Sci, 1992, pp. 10915-9.
[79] N. Saitou and M. Nei, «The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees,» Molecular Biology and Evolution, vol.4, no.4, pp.406–425,1987.
[80] I. Gronauand S. Moran, «Optimal implementations of UPGMA and other common clustering algorithms,» Information Processing Letters, vol.104, no.6, pp.205–210,2007.
[81] J. D. Thompson, D. G. Higgins, and T. J. Gibson, «CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice,» Nucleic Acids Research, vol. 22, no.22, pp.4673–4680,1994.
[82] K. Katoh and D. M. Standley, «MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability,» Molecular Biology and Evolution, vol. 30, no. 4, pp.772–780,2013.
[83] T. Lassmann and E. L. L. Sonnhammer, «Kalign—an accurate and fast multiple sequence alignment algorithm,» BMC Bioinformatics, vol.6, article298,2005.
[84] U. Roshan and D. R. Livesay, «Probalign: multiple sequence alignment using partition function posterior probabilities,» Bioinformatics, vol.22, no.22, pp.2715–2721,2006.
[85] R.C. Edgar, «MUSCLE: a multiple sequence alignment method with reduced time and space complexity,» BMC Bioinformatics, vol.5, article113,2004.
[86] B. Morgenstern, «DIALIGN: multiple DNA and protein sequence alignment at BiBiServ,» Nucleic Acids Research, vol.32, supplement2, pp. W33–W36,2004.
[87] A. L¨oytynoja and N. Goldman, «Phylogeny-aware gap placement prevents errors in sequence alignment and evolutionary analysis,» Science, vol.320, no.5883, pp.1632–1635,2008.

[88] R. K. Bradley, A. Roberts, M. Smoot et al., «Fast statistical alignment,» PLoS Computational Biology, vol. 5, no. 5, Article IDe1000392,2009.

[89] P. Di Tommaso, S. Moretti, I. Xenarios et al., «T-Coffee: a webserver for the multiple sequence alignment of protein and RNA sequences using structural information and homology extension,» Nucleic Acids Research, vol. 39, supplement 2, pp. W13–W17,2011.

[90] C. Notredame, D.G. Higgins, and J. Heringa, «T-coffee: a novel method for fast and accurate multiple sequence alignment,» Journal of Molecular Biology, vol.302, no.1, pp.205–217,2000.

[91] C.B.Do, M.S.P. Mahabhashyam, M. Brudno, and S. Batzoglou, «ProbCons: probabilistic consistency-based multiple sequence alignment,» Genome Research, vol.15, no.2, pp.330–340,2005.

[92] B. Reddy and R. Fields, «Multiple Anchor Staged Alignment Algorithm – Sensitive (MASAA –S),» 2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT), San Jose, CA, USA, 2020, pp. 361-365, doi: 10.1109/ICICT50521.2020.00064.

[93] Reddy, B., & Fields, R. (2023). Maximum Match Subsequence Alignment Algorithm Finely Grained (MMSAA FG). arXiv e-prints, arXiv-2305.

[94] Bharath Reddy and Richard Fields, «Techniques for Reader-Writer Lock Synchronization,» International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol. 8, No. 4, pp. 63-73, December 2020. doi: 10.18178/ijeee.8.4.63-73.

[95] Bharath Reddy and Richard Fields. 2022. From past to present: a comprehensive technical review of rule-based expert systems from 1980 -- 2021. In Proceedings of the 2022 ACM Southeast Conference (ACM SE '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 167–172. https://doi.org/10.1145/3476883.3520211.

[96] Reddy, Bharath. (2020). BIOINFORMATICS & PAIRWISE SEQUENCE ALIGNMENT: Local and Global Sequence Alignment Algorithms. Amazon publications, May, 2020, https://www.amazon.com/BIOINFORMATICS-PAIRWISE-SEQUENCE-ALIGNMENT-Algorithms-ebook/dp/B0879F5B5T/ref=sr_1_1?crid=2WEBAOL36MKNC&keywords=sequence+alignment+bharath&qid=1696737104&sprefix=sequence+alignment+bharath+%2Caps%2C295&sr=8-1.

[97] eddy, B., Fields, R. (2022). Multiple Sequence Alignment Algorithms in Bioinformatics. In: Zhang, YD., Senjyu, T., So-In, C., Joshi, A. (eds) Smart Trends in Computing and Communications. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 286. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4016-2_9.

[98] Gonçalves GAR, Paiva RMA. Gene therapy: advances, challenges and perspectives. Einstein (Sao Paulo). 2017 Jul-Sep; 15 (3): 369-375. doi: 10.1590/S1679-45082017RB4024. PMID: 29091160; PMCID: PMC5823056.

AUTHORS

	Dr. Deepak T.A is professor and head of the department of Oral medicine and Radiology at V. Dental College and Hospital. He has been a full tenured professor for 10 years and his research areas are in oral medicine and oral cancer. Lately, he is exploring and developing computational tools to detect oral cancer.
	Dr. Anulekha C.K is a professor and head of the department of Prosthodontics, also known as dental prosthetics or prosthetic dentistry. She is a tenure track professor at Kameneni Institute of Dental Science. Her research lately is into oral cancer, prosthedontics and its impact on oral cancer, computational tools development and dentals sciences.
	Suchindra is an Engineering from Bangalore University. He is currently pursuing neuroscience and genome research at National Institute of Mental Health and Neurosciences. His research areas are Brain haemorrhages, Autism and Genome research. He has been active researcher for 10 years. He is working for Karnataka State Govt.
	Dr. Avinash is a professor and head of the department of Oral Medicine and Radiology at the Kameneni insitiute of Dental Science. He has been a full tenured professor for 7 seven years and focus most of his research on oral medicine and oral cancer.
	Ms Mariyam Nadhira is senior instructor of Computer science at The Maldives National University in the department of computer science. Her research is in Biotechnology and Biosciences, and Data analysis.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1109-1120
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation of drug prescribing patterns and factors associated with antibiotics prescribing at first-line health facilities in the city of Kisangani, Democratic Republic of Congo

Samuel Bosongo[1-2], Meffy Mokwano[3], Alpha Ngandru[3], and Eugène Basandja[1]

[1]Department of Public Health, Faculty of Medicine and Pharmacy, University of Kisangani, Kisangani, RD Congo

[2]Centre de Connaissances en Santé, Kinshasa, RD Congo

[3]Provincial Health Division of Tshopo, Kisangani, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: ***Introduction***: Irrational prescription of drugs is still a public health issue, especially in low- and middle-income countries. This study aimed to assess prescribing quality using WHO indicators and identify factors associated with antibiotic prescribing at first-line health facilities in the city of Kisangani, the Democratic Republic of Congo.
Methods: We conducted a cross-sectional study from 1 July 2019 to 30 June 2020. Using systematic sampling, we selected 21 first-line health facilities and 715 outpatient consultation forms. We then performed univariate, bivariate, and multivariate analyses using Epi Info7 and OpenEpi 3.01.
***Results*:** The average number of drugs prescribed per consultation was 4.0 (SD=1.5); the percentages of consultations with an antibiotic and an injection prescribed were 69.2% and 69.5%, respectively; 75.2% of drugs were prescribed by generic name, and 83.5% were from the national essential drugs list. Factors associated with antibiotic prescribing were the absence of care flowcharts in health facilities (OR= 0.36, 95%CI= 0.20-0.63), two or more diagnoses (OR= 1.51, 95%CI=1.05-2.17), three or more drugs prescribed (OR=4.12, 95%CI=2.49-6.79), and more than ten years of prescriber's professional experience (OR=1.92, 95%CI=1.33-2.78).
***Conclusion*:** The prescribing indicators did not align with WHO standards, demonstrating the poor rationality of drug prescribing behaviour. Promoting rational drug prescribing in first-line health facilities, with a particular focus on antibiotics, is necessary.

KEYWORDS: First-line facilities, Drugs, prescribing indicators, Antibiotics, World Health Organisation, Democratic Republic of Congo.

1 INTRODUCTION

In both the North and South, the irrational prescription of drugs remains a public health issue. The World Health Organization (WHO) has estimated that more than half of all drugs are prescribed, dispensed or sold inappropriately [1]. This situation is particularly concerning in low- and middle-income countries, which are facing an epidemiological transition characterised by the double burden of infectious and non-communicable diseases [2]. Irrational use of drugs can harm the quality of care. It may lead to adverse effects, drug interactions, antimicrobial resistance, non-adherence to treatment and catastrophic expenditure for patients [1], [3], [4].

The WHO advocates for the rational use of drugs, which involves providing patients with *"medications appropriate to their clinical needs, in doses that meet their own individual requirements, for an adequate period of time, and at the lowest cost to them and their community"* [5], [6]. To achieve this end, the WHO, in collaboration with the International Network for the Rational Use of Drugs (INRUD), has developed a set of indicators to assess, compare, monitor and supervise the rational use of drugs. These indicators are grouped into three categories: prescribing indicators, patient care indicators and facility indicators.

Corresponding Author: Samuel Bosongo

In addition, methodological guidance has been developed to measure these indicators [6]. This study focuses on the prescribing indicators.

The irrational prescription of drugs continues to be a significant concern in sub-Saharan Africa. A systematic review of 18 studies conducted between 1993 and 2013 in six African countries showed that antibiotics and injections were overprescribed in primary care facilities [7]. Another systematic review of 43 studies conducted in 11 African countries between 1995 and 2015 also showed that prescribing indicators did not meet the WHO's standards in primary care facilities [8]. Unfortunately, this situation has persisted beyond this period, as evidenced by studies conducted in Ethiopia [9], [10], Sudan [11], Botswana [12], Namibia [2], Cameroon [13] and Eritrea [14], regardless of the level of care.

In addition, most of the studies cited above reported that antibiotics were over-prescribed. According to the literature, several factors may be associated with antibiotic prescribing. These include factors related to the patient, such as age [2], [14], [15] and sex [14], [16]; factors related to the prescriber, like the number of years of experience [17], [18], qualification or specialisation [2], [18], [19] and training in the rational use of drugs [17]; factors related to the health facility, especially the level of care in the health pyramid [15], [18], [19] and other factors such as performance-based funding and prescribing after laboratory tests [13].

The situation in the Democratic Republic of Congo (DRC) is similar to other sub-Saharan African countries. A study conducted in six district hospitals in the former provinces of Katanga, Kasaï Oriental, and South Kivu revealed that prescribing indicators did not meet the WHO standards [20]. Another study conducted in 11 hospitals in Butembo in the province of North Kivu showed a high prevalence of antibiotic prescription [21]. However, no study has been conducted at the first level of care, which provides primary care to most of the population. This research aims to fill this gap by (1) assessing the quality of drug prescribing using WHO indicators and (2) identifying factors associated with antibiotic prescribing in first-level health facilities in the city of Kisangani. The findings of this study will provide a starting point for subsequent evaluations and assist health authorities in promoting the rational use of drugs on the basis of local evidence.

2 METHODS

2.1 CONTEXT: CONGOLESE HEALTH SYSTEM AND STUDY SETTING

The Congolese health system consists of three levels: national, provincial, and district. The national level sets norms, the provincial level provides technical support to health districts, and the district level implements national health policies [22]. The district level comprises two specific but complementary healthcare levels under the stewardship of the district health management team [23]. The first level is made up of a network of first-line health facilities that provide primary care to the population. The second level includes one or more hospitals that offer more technical or specialised care [24]. The health district is divided into health areas, which are geographical spaces of 5,000 to 10,000 inhabitants [25]. Each health area has one or more first-level health facilities, and one of these facilities is responsible for the area and reports to the district health management team. Given the limited number of physicians during the decades following the decolonisation, first-level care has been delegated to nurse practitioners or non-physician clinicians. However, this situation is changing as more physicians are being trained and are starting to operate at the first-line facilities but in a poorly controlled and regulated way [24], [26], [27].

The healthcare provision in the DRC is pluralist, consisting of a complex mix of providers and platforms [28] belonging to the public sector, the faith-based sector and the for-profit private sector [23], [29]. The healthcare provision is highly fragmented, under-regulated, and underfunded. Health facilities are self-funded and rely on out-of-pocket payment via fee-for-service. Despite the fact that extreme poverty affects 74% of the population [22], health service users remain the main source of health system funding (43% of current health expenditure) [30].

This research was conducted in Kisangani, the capital city of Tshopo province in north-eastern DRC. The provincial health division has estimated the population to be around 1.5 million, distributed across five health districts. Kisangani City counts one university hospital, one provincial hospital, five district hospitals, and 88 health areas, along with several first-line facilities, whose exact numbers are unknown due to inadequate health system regulation.

2.2 STUDY DESIGN, PERIOD AND POPULATION

We conducted a cross-sectional study in first-line health facilities. Between December 2020 and March 2021, we collected data from patient files from 1 July 2019 until 30 June 2020. We chose one year to account for any seasonal variations. The

study population consisted of first-line health facilities located in Kisangani. The inclusion criterion was being a health facility responsible for a well-defined health area, regardless of institutional affiliation. We chose this criterion based on the assumption that the first-line facilities responsible for health areas are likely to have better-organised records of outpatient consultation forms, as district health management teams are supposed to supervise them regularly.

2.3 SAMPLING

According to the WHO, at least 600 prescriptions from 20 health facilities are recommended for basic cross-sectional studies [6]. Our sample consisted of 756 outpatient consultation forms randomly selected from 21 health facilities, i.e., 36 records per facility. Our goal was to avoid the possibility of incomplete data leading to a reduction in our sample size and to ensure an equal representation of facilities from different institutional affiliations (state-run, faith-based, and private for-profit facilities).

We conducted a two-stage sampling. In the first stage, we stratified health facilities into three institutional affiliation categories (state-run, faith-based, and private for-profit facilities) using their list obtained from the provincial health division office. We excluded 16 peri-urban health facilities from this list because of resource constraints. Within each category, we selected seven health facilities using systematic sampling. In the second stage, within each selected health facility, we classified the available outpatient consultation forms by month for the study period. Then we selected three forms per month using systematic sampling.

2.4 DATA COLLECTION

We collected data between December 2020 and March 2021 using a pre-tested grid. These data included variables necessary for calculating the WHO's prescribing indicators and identifying factors associated with antibiotic prescribing. These variables were:

- The dependent variables: the total number of drugs prescribed, the number of drugs prescribed by generic name, the number of consultation forms with an antibiotic prescribed, the number of consultation forms with an injection prescribed, and the number of drugs prescribed from the national essential drugs list
- The independent variables: the features of the health facilities (institutional affiliation, presence of flowcharts or guidelines, presence of national essential drug list), the patients (sex, age and number of diagnoses) and the prescribers (qualification, seniority in post, training in rational drug prescribing)

Data were collected by trained and supervised collectors under the supervision of the first author to ensure their quality. To distinguish antibiotics from other antimicrobials, we referred to the drug classification outlined in the WHO's 21st edition of the model list of essential medicines [31]. The WHO classifies antibiotics into three groups: Access group (effective against common pathogens and lower resistance potential), Watch group (higher risk of resistance), and Reserve group (only for multi-drug-resistant infections). Access antibiotics are essential and should be available, affordable, and of high quality. Watch antibiotics should be prioritised for stewardship programs and monitoring. Reserve antibiotics are a last resort [31]. This classification is known as the AWaRe (Access, Watch, Reserve) classification. Additionally, we consulted the DRC's national list of essential drugs to identify each drug's generic name [32].

2.5 DATA ANALYSIS

After preliminary cleaning, the data were entered and analysed in Epi Info 7 and OpenEpi 3.01. We used univariate analysis (frequency, mean and standard deviation, median and interquartile range) to describe the characteristics of the sample and summarise the prescribing indicators. These indicators were the average number of drugs prescribed per consultation, the percentage of drugs prescribed by generic name, the percentage of consultations with an antibiotic prescribed, the percentage of consultations with an injection prescribed and the percentage of drugs prescribed from the national essential drugs list [6]. They were calculated as follows:

- The average number of drugs prescribed per consultation was calculated by dividing the total number of drug products prescribed by the number of outpatient consultation forms surveyed [6]
- The percentage of drugs prescribed by the generic name was calculated by dividing the number of drugs prescribed by the generic name by the total number of drugs prescribed, multiplied by 100 [6]

- The percentage of consultations with an antibiotic prescribed was calculated by dividing the number of outpatient consultation forms in which an antibiotic was prescribed by the total number of outpatient consultation forms surveyed, multiplied by 100 [6]
- The percentage of consultations with an injection prescribed was calculated by dividing the number of outpatient consultation forms in which an injection was prescribed by the total number of outpatient consultation forms surveyed, multiplied by 100 [6]
- The percentage of drugs prescribed from the essential drug list was calculated by dividing the number of drugs prescribed which are in the essential drug list by the total number of drugs prescribed, multiplied by 100 [6]

To evaluate the rationality of prescriptions, we compared these indicators with WHO standards [2], [33] and calculated the rational drug use indexes developed by Zhang and Zhi [33]. These indexes are the index of polypharmacy, the index of generic name, the index of rational antibiotic use, the index of safe injection drug use, and the index of essential drug list. They were calculated as follows:

- For the average number of drugs per consultation (index of polypharmacy), the percentage of consultations with an antibiotic prescribed (index of rational antibiotic use) and the percentage of consultations with an injection prescribed (index of safe injection drug use), the optimal value (WHO standard) is divided by the observed value
- For the percentage of medicines prescribed by generic name (index of generic name) and the percentage of medicines prescribed from the essential drug list (index of essential drug list), the observed value is divided by the optimal value (WHO standard)

The optimal index value is set at 1 for each indicator. The closer the calculated index value is to 1, the more rational the prescription. The general Index of Rational Drug Prescribing (IRDP) is obtained by adding the index values of all prescribing indicators, and its optimal value is 5. The closer the IRDP is to 5, the more rational the prescription.

In addition, we used one-way analysis of variance (ANOVA) to analyse the differences among the institutional affiliations of healthcare facilities. The statistical significance was determined by $p < 0.05$. We also carried out bivariate and multivariate analyses (logistic regression) to determine the factors associated with antibiotic prescribing, using the Odds Ratio (OR) with a confidence interval of 95% and a significance level of $p<0.05$.

2.6 ETHICAL CONSIDERATIONS

The study protocol was approved by the head of the provincial health division of Tshopo (reference number 701/DPS/TSHOPO/SEC/0731/2020). The heads of Kisangani's five urban health districts authorized data collection in their jurisdictions. The heads of the selected health facilities were requested to provide written informed consent before data collection. The privacy of patients, prescribers, and facilities was maintained by keeping their identities anonymous.

3 RESULTS

3.1 CHARACTERISTICS OF THE SAMPLE

We collected data from 756 outpatient consultation forms but excluded 41 due to missing information. Our analysis focused on 715 outpatient consultation forms, whose characteristics are outlined in Table 1. Most patients were female (58.18%), with a median age of 19 years (IQR=26). Almost three-quarters of the patients attended health facilities with available care flowcharts (72.45%) and the national essential drugs list (76.92%). We found that most patients, about 72.45%, were consulted by providers untrained in rational drug prescribing. These providers were mainly nurses with a median professional experience of 12 years (IQR=12). They belonged to the higher school (45.45%) and secondary school (44.48%) education categories.

Table 1. Characteristics of the sample

Variables	Frequency (n=715)	Percentage
Distribution of patients by facility affiliations		
State-run facilities	245	34.27
Faith-based facilities	245	34.27
Private for-profit facilities	225	31.47
Patients seen in health facilities with care flowcharts or guidelines		
Yes	518	72.45
No	197	27.55
Patients seen in health facilities with essential drugs list		
Yes	550	76.92
No	165	23.08
Age of patients (Md = 19, IQR=26, Min. = 0, Max. = 84)		
0 - 4 years	174	24.34
5 - 14 years	128	17.90
15 years and more	413	57.76
Sex of patients		
Male	299	41.82
Female	416	58.18
Number of diagnoses per patient		
1 diagnose	381	53.29
2 diagnoses and more	334	46.71
Number of drugs prescribed per patient		
0 - 2 drugs	86	12.03
3 - 4 drugs	400	55.94
5 drugs and more	229	32.03
Distribution of patients by prescriber qualification		
General practitioner	56	7.83
Nurse – High school	325	45.45
Nurse -Secondary school	318	44.48
Others	16	2.24
Distribution of patients by prescribers' years of experience (Md = 12, IQR=12, Min. = 1, Max. = 44)		
0 - 5 years	139	19.44
6 - 10 years	197	27.55
11 years and more	379	53.01
Patients seen by a provider trained in rational use of drugs		
Yes	197	27.55
No	518	72.45

3.2 INDICATORS OF RATIONAL PRESCRIBING

Table 2 shows the indicators of rational prescribing. The average number of drugs prescribed per consultation was 4.00 (SD=1.47). Antibiotics and injections were prescribed in 69.23% and 69.51% of consultations, respectively. Almost three-quarters of drugs (75.22%) were prescribed by generic name, and 83.46% were prescribed from the national essential drugs list. The high percentages of consultations with an antibiotic (72.65%) and an injection (79.11%) were observed in state-run and private for-profit health facilities, respectively. The difference among the institutional affiliations was statistically significant for all indicators except the average number of drugs per consultation.

Table 2. Indicators of rational prescribing

Indicators	Faith-based facilities	State-run facilities	Private for-profit facilities	All facilities	WHO Standards [2], [33]	p-value*
Average number of drugs per consultation (SD)	4.07 (1.69)	4.11 (1.48)	3.83 (1.17)	4.00 (1.47)	<2	0.0884
Percentage of consultation with an antibiotic prescribed	63.27	72.65	72.00	69.23	<30	0.0454
Percentage of consultation with an injection prescribed	64.49	65.71	79.11	69.51	<20	<0.0005
Percentage of drugs prescribed by generic name	74.92	79.44	61.89	75.22	100	<0.0005
Percentage of drugs prescribed from national essential drugs list	83.25	86.96	69.71	83.46	100	0.0017

**Result of ANOVA (significance level: p<0.05)*

Table 3 outlines the overall IRDP of 2.80, which is the sum of the index of non-polypharmacy (0.5), the index of rational antibiotic use (0.43), the index of safe injection drug use (0.29), the index of generic name (0.73) and the index of essential drug list (0.83). The state-run facilities have the highest IRDP, which is 2.87.

Table 3. Index of rational drugs prescribing

Indexes	Faith-based facilities	State-run facilities	Private for-profit facilities	All facilities	WHO Standards [2], [33]
Index of non-polypharmacy	0.49	0.49	0.52	0.5	1
Index of rational antibiotic use	0.47	0.41	0.42	0.43	1
Index of safe injection drug use	0.31	0.30	0.25	0.29	1
Index of generic name	0.75	0.79	0.62	0.75	1
Index of essential drug list	0.83	0.87	0.70	0.83	1
IRDP	2.86	2.87	2.51	2.80	5

A total of 743 antibiotics were prescribed during 495 consultations, resulting in an average of 1.49 (SD= 0.61) antibiotics per consultation. The majority of antibiotic prescriptions (76.45%) were from the "access" group, with amoxicillin (20.3%), gentamycin (18.6%), and cotrimoxazole (12.9%) being the most commonly prescribed antibiotics, as indicated in Table 4.

Table 4. Distribution of prescribed antibiotics (AWaRe)

AWaRe Classification	Frequency (n=743)	Percentage
Access group antibiotics	**568**	**76.45%**
Amoxicillin	51	20.32%
Gentamycin	138	18.57%
Sulfamethoxazole + Trimethoprim (cotrimoxazole)	96	12.92%
Metronidazole	80	10.77%
Ampicillin	68	9.15%
Doxycycline	11	1.48%
Others*	24	3.23%
Watch group antibiotics	**157**	**21.13%**
Ceftriaxone	78	10.50%
Ciprofloxacin	40	5.38%
Cefixime	23	3.10%
Others**	16	2.15%
Reserve group antibiotics	**0**	**0.00%**
No classified	**18**	**2.42%**

**Phenoxymethylpenicillin, Chloramphenicol, Nitrofurantoin, Cloxacillin, Procaine Benzylpenicillin, Amoxicillin + Acid Clavulanic, Benzathine Benzylpenicillin*

***Cefotaxime, Azithromycin, Erythromycin, Cefuroxime*

FACTORS ASSOCIATED WITH ANTIBIOTIC PRESCRIBING

Table 5 displays the outcomes of bivariate and multivariate analyses. After adjusting for potential confounders using logistic regression, the presence of care flowcharts or guidelines at the health facility, the number of diagnoses, the number of drugs prescribed and the number of prescriber's years of professional experience were significantly associated with antibiotic prescribing. The presence of care flowcharts or guidelines in facilities was associated with a lower probability of prescribing antibiotics by 66% compared to facilities without flowcharts or guidelines (OR: 0.36, 95% CI: 0.20-0.63; p=0.0004). In our sample, patients with two or more diagnoses were 1.5 times more likely to receive a prescription for antibiotics than those with only one diagnosis (OR: 1.51, 95% CI: 1.05-2.17; p=0.025). Patients who have been prescribed three or more drugs were four times more likely to be prescribed antibiotics than those prescribed less than three. (OR: 4.12, 95% CI: 2.49-6.79; p<0.0001). Patients who visited providers with 11 or more years of professional experience were 1.92 times more likely to be prescribed antibiotics than those with less than 11 years of experience. (OR: 1.92, 95%IC: 1.33-2.78; p=0.0005).

Table 5. Factors associated with antibiotic prescribing

Independent variables	Antibiotic prescribing		Bivariate analysis		Multivariate analysis	
	Yes	No	OR [IC 95%]	P-Value	OR [IC 95%]	P-Value*
Facility affiliations						
Faith-based facilities	155	90	Ref.			
State-run facilities	178	67	1.54 [1.05-2.26]	0.0264	1.31 [0.86-1.99]	0.2051
Private for-profit facilities	162	63	1.49 [1.01-2.21]	0.0440	0.63 [0.36-1.11]	0.1069
Presence of care flowcharts in facilities						
No	152	45	Ref.			
Yes	343	175	0.58 [0.39-0.84]	0.0049	0.36 [0.20-0.63]	0.0004
Age of patients						
<15 years	209	93	Ref.			
≥ 15 years	286	127	1.00 [0.73-1.38]	0.9899	1.11 [0.78-1.58]	0.5464
Sex of patients						
Female	296	120	Ref.			
Male	199	100	0.81 [0.58-1.11]	0.1891	0.86 [0.61-1.22]	0.4036
Number of diagnoses						
1 diagnosis	243	138	Ref.			
≥ 2 diagnoses	252	82	1.74 [1.26-2.42]	0.0008	1.51 [1.05-2.17]	0.0250
Number of prescribed drugs						
< 3 drugs	33	53	Ref.			
≥ 3 drugs	462	167	4.44 [2.78-7.10]	<0.0001	4.12 [2.49-6.79]	<0.0001
Prescriber's qualification						
Physician	42	14	Ref.			
Non-physician	495	220	0.73 [0.39-1.37]	0.3316	0.75 [0.37-1.52]	0.4207
Number of prescriber's year of experience						
< 11 years	214	122	Ref.			
≥ 11 years	281	98	1.63 [1.19-2.25]	0.0026	1.92 [1.33-2.78]	0.0005
Training in rational use of drugs						
No	48	172	Ref.			
Yes	149	346	1.54 [1.06-2.24]	0.0227	1.50 [1.00-2.27]	0.0490

*OR: Odds Ratio, CI: confidence interval, *significance level: p<0.05*

4 DISCUSSION

This study revealed that prescribing indicators at first-line facilities did not meet WHO standards, indicating irrational prescribing. The absence of care flowcharts in health facilities, the number of diagnoses ≥2, the number of drugs prescribed ≥3, and the prescriber's professional experience ≥11 years was significantly associated to antibiotic prescribing.

4.1 RATIONAL PRESCRIBING INDICATORS

Our study found that, on average, 4.00 drugs were prescribed per consultation, which is more than the double of WHO standard (<2). This result is higher than those of the first-line facilities in the WHO African region (3.1) [8] and those of hospitals in the DRC (3.5) [20]. This result shows similar prescribing patterns (polypharmacy) for outpatients at primary care facilities and inpatients at referral facilities (hospitals) in the DRC. This situation could be due to the need for health facilities to self-finance, which opens the way to the commercialisation of healthcare. Indeed, this polypharmacy may be a mechanism of institutional survival as providers tend to prescribe more drugs to generate income. However, this practice results in increased costs for the patient and likely also to negative impacts on the quality of care due to adverse drug interactions.

We also evidenced a high percentage of consultations with an antibiotic prescribed (69.2%) compared with the WHO standard (<30%). This result mirrors those of studies conducted in district hospitals in the DRC (68%) [21]. This over-prescribing of antibiotics may be explained by the healthcare providers' habit of directly prescribing antibiotics for common symptoms such as fever, cough or diarrhoea without any laboratory confirmation tests [8]. There is also a high demand from patients who were made to believe that antibiotics constitute the best possible treatment [34], [35]. Ideally, however, healthcare providers are expected to inform their patients about the risks of overusing antibiotics rather than simply giving them out upon request. Antibiotic overuse can lead to resistance, which is increasingly becoming a global public health problem [36].

The percentage of consultations with an injectable prescribed in our study (69.5%) was again situated above the WHO standard (<20%). This percentage is also higher than for first-line facilities in the WHO African region, which stands at 25% [8]. This situation can be explained by the search for the financial survival of the facility, and beyond that, perhaps even the intention to generate profits, and by irrational (largely provider-induced) patient demand. On the one hand, in a fee-for-service context, as is predominantly the case in the DRC, health facilities benefit from prescribing injections as it generates additional funds for purchasing the necessary injection materials (syringes, needles, water for injection) and ensuring providers an income. On the other hand, patients increasingly request injectable drugs despite their high costs because they perceive them – or are made to perceive them - to be more effective than orally-administered drugs [8], [35]. Whether induced by healthcare providers or patients, irrational prescribing of injections can lead to catastrophic expenditure and negatively affects the quality and efficiency of healthcare delivery.

Our study showed that the percentage of drugs prescribed with their generic name (75.2%) was lower than the WHO standard (100%). This situation is likely due to the influence of representatives of pharmaceutical companies promoting their products in health facilities. Indeed, in a context of poor health system regulation, pharmaceutical firms are incentivising healthcare providers to prescribe them using brand names. Additionally, the supply of most health facilities with brand drugs from common markets may also contribute to this situation.

We found that only 83.46% of drugs were prescribed from the national list of essential drugs, which falls short of the WHO standard of 100%. This situation may be explained by the fact that some facilities (23%) do not have the national list of essential drugs [8], while others have it but do not use it. The non-availability of the national essential drug list in some facilities may be explained by financial constraints preventing the district health management teams from printing and distributing it to their staff. Meanwhile, the non-use of this list in other facilities may be the result of scarce clinical supervision at the primary care facilities by the members of district health management teams. Indeed, supervision visits are increasingly becoming an administrative exercise, focusing on preventive activities designed within the frame of externally funded vertical programs.

More than two-thirds of the antibiotics prescribed in our study are situated in the "access" group. Of all the antibiotics prescribed, amoxicillin was the most common, accounting for 18.6% (138/743). This aligns with previous research in the DRC [21] and Cameroon [13] that also placed amoxicillin as the most prescribed antibiotic.

4.2 FACTORS ASSOCIATED WITH ANTIBIOTIC PRESCRIBING

In our study, the presence of care flowcharts or guidelines in health facilities was significantly associated with a reduction in antibiotic prescribing (OR: 0.36, 95% CI: 0.20-0.63; p=0.0004). This finding highlights the importance of providing staff at health facilities with such guidelines. However, this may not suffice. It also matters to ensure that healthcare providers are using them. More regular clinically oriented supervision visits, looking into routine outpatient consultations, would be most helpful in that respect. Hence the need for district health management teams to (want to) make good use of their clinical skills. District health management teams are often incentivised to prioritize specific activities of vertical programs like, for instance, vaccination campaigns or distribution of insecticide-treated mosquito nets. Effective use of care flowcharts may also minimise multiple diagnoses and prescriptions of three drugs, which were significantly associated with antibiotic prescribing in our study (respectively OR: 1.51, 95% CI: 1.05-2.17; p= 0.025 and OR: 4.12, 95% CI: 2.49-6.79; p<0.0001).

We found that healthcare providers with 11 or more years of professional experience prescribed significantly more antibiotics than those with less experience (OR: 1.92, 95%CI: 1.33-2.78, p<0.0005). In Cameroon, however, such a statistically significant association between longevity in service and antibiotic prescription was not demonstrated (p=0.699) [13]. Our study did not confirm the hypothesis that older prescribers are more rational in prescribing than younger ones. It could be assumed that younger prescribers are also better trained in this aspect and are more aware of the issue of antibiotic resistance.

Providers untrained in rational drug prescribing prescribed 1.5 times more antibiotics than their trained colleagues, but this association was not statistically significant (OR: 1.50, 95%CI: 1.00-2.27; p=0.049). This finding raises doubts about the effectiveness of the training provided and its follow-up measures.

4.3 IMPLICATIONS FOR POLICY AND PRACTICE

The results suggest the need to take steps to enhance the rational prescribing of drugs at the primary care level.

First, it is crucial to strengthen the clinical supervision of healthcare providers in order to ensure the effective use of care flowcharts and disseminate and monitor WHO prescribing indicators. Since primary healthcare is intrinsically integrated, supervision must also be integrated so as to boost healthcare providers' abilities in curative, preventive, promotional, and rehabilitative care. Effective clinical supervision can be a promising alternative to conventional training, which in our study has shown to have no positive impact on antibiotic prescribing.

Second, it is pertinent to replace fee-for-service payments with flat fees per disease episode in health facilities in order to mitigate the risk of commercialisation of care and irrational drug prescribing. However, a flat fee payment covering all drugs is likely to be so high that it could further compromise financial access to care for an impoverished population without third-party payment subsidies. Furthermore, more than flat fee payment is needed to improve the quality of prescriptions in a complex healthcare system. It is crucial to enhance the quality of both basic and continuing education for healthcare workers regarding diagnosis and therapy. This should focus on a patient-centred approach that values dialogue with patients.

And third, it is recommended to strengthen the national essential drug supply system so as to ensure that health facilities receive sufficient high-quality generic drugs, which in turn may reduce the negative impact of pharmaceutical companies on rational drug prescribing.

4.4 STRENGTHS AND LIMITATIONS OF THE STUDY

This study has the merit of being the first to assess prescribing indicators at first-line facilities in the DRC. It offers valuable evidence to the scientific community and health authorities for research, planning, and monitoring of the rational use of drugs in primary care health facilities.

However, the study findings cannot be generalised to the whole country, as it was carried out in a highly urbanised setting. Moreover, this study only focused on prescribing indicators and did not consider other categories of WHO's indicators, which are patient care and facility indicators. Therefore, further studies in rural areas encompassing all three indicator categories are necessary to provide a complete understanding of the challenge of drug use practices. Additionally, our study did not consider the relationship between the diagnoses established by the providers and the prescription pattern because of the low accuracy of the former, particularly in the case of infectious diseases. Most health facilities indeed lack laboratory tests, making differentiation between viral and bacterial infections difficult.

5 CONCLUSION

Our study revealed that drug prescribing in primary healthcare facilities in the city of Kisangani did not, by far, meet WHO standards. This calls for stronger promotion of rational drug prescribing in health facilities, with particular attention to antibiotic and injection prescribing. This promotion implies large dissemination of WHO's prescribing indicators in the community of healthcare providers, but also among health systems managers. Furthermore, health facilities should be provided with up-to-date flowcharts for diagnostic and therapeutic decision-making, and their effective use should be monitored. Next to the traditional classroom training programs, due priority should be given to regular in-service clinical supervision by district health managers of routine healthcare provision in these first-line health facilities.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the head of the provincial health division of Tshopo, the heads of five urban health districts of Kisangani and the heads of selected health facilities for the authorisation to conduct the research in their jurisdictions. We also thank Professor Bart Criel for his insightful comments on and editing of this paper.

FUNDING

The author (s) received no financial support for the research and publication of this article.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

SB, MM and AK designed the study with contribution from EB. SB supervised data collection, conducted data analysis and drafted the initial manuscript. SB, MM, AK and EB contributed to manuscript revision. All authors read and approved the final version of this manuscript.

COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing interests.

REFERENCES

[1] World Health Organization, «The World Medicines Situation,» *WHO/EDM/PAR/2004.5*. p. 145, 2004.

[2] Q. Niaz *et al.,* «Validity of World Health Organisation prescribing indicators in Namibia's primary healthcare: Findings and implications,» *International Journal for Quality in Health Care,* vol. 31, no. 5, pp. 338–345, 2019, doi: 10.1093/intqhc/mzy172.

[3] World Health Organization, «Global Action Plan on Antimicrobial Resistance,» 2015. doi: 10.1128/microbe.10.354.1.

[4] A. A. Desalegn, «Assessment of drug use pattern using WHO prescribing indicators at Hawassa University teaching and referral hospital, south Ethiopia: a cross-sectional study,» *BMC Health Serv Res,* vol. 13, no. 1, p. 170, 2013, doi: 10.1186/1472-6963-13-170.

[5] O. O. Enwere, C. O. Falade, and B. L. Salako, «Drug prescribing pattern at the medical outpatient clinic of a tertiary hospital in southwestern Nigeria,» *Pharmacoepidemiol Drug Saf,* vol. 16, pp. 1244–1249, 2007, doi: 10.1002/pds.

[6] World Health Organisation, «How to investigate drug use in health facilities. Selected drug use indicators,» *WHO/DAP/93.1*. p. 87, 1993. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00761-3.

[7] R. Ofori-Asenso and A. A. Agyeman, «A review of injection and antibiotic use at primary health care (public and private) centers in Africa,» *J Pharm Bioallied Sci,* vol. 7, no. 3, pp. 175–180, 2015.

[8] R. Ofori-Asenso, P. Brhlikova, and A. M. Pollock, «Prescribing indicators at primary health care centers within the WHO African region: A systematic analysis (1995-2015),» *BMC Public Health,* vol. 16, p. 724, 2016, doi: 10.1186/s12889-016-3428-8.

[9] B. Wogayehu, Y. Chisha, B. Tekabe, A. Adinew, and M. Asefaw, «A cross sectional comparison of drug use indicators using WHO methodology in primary level hospitals participating in an Auditable Pharmaceutical Transactions and Services program versus non-APTS primary hospitals in Southern Ethiopia,» *PLoS One,* vol. 14, no. 10, pp. 1–26, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0223523.

[10] M. Sisay, G. Mengistu, B. Molla, F. Amare, and T. Gabriel, «Evaluation of rational drug use based on World Health Organization core drug use indicators in selected public hospitals of eastern Ethiopia: A cross sectional study,» *BMC Health Serv Res,* vol. 17, p. 161, 2017, doi: 10.1186/s12913-017-2097-3.

[11] S. N. Abdalla and B. A. Yousef, «Prescribing patterns of antimicrobials in the internal medicine department of ibrahim malik teaching hospital in Khartoum, 2016,» *Pan African Medical Journal,* vol. 34, pp. 1–10, 2019, doi: 10.11604/pamj.2019.34.89.17023.

[12] Y. Mashalla *et al.,* «Assessment of prescribing practices at the primary healthcare facilities in Botswana with an emphasis on antibiotics: Findings and implications,» *Int J Clin Pract,* vol. 71, no. 12, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1111/ijcp.13042.

[13] E. D. Chem, D. N. Anong, and J. F. K. T. Akoachere, «Prescribing patterns and associated factors of antibiotic prescription in primary health care facilities of Kumbo East and Kumbo West Health Districts, North West Cameroon,» *PLoS One,* vol. 13, no. 3, pp. 1–18, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0193353.

[14] N. D. Amaha, D. G. Weldemariam, N. Abdu, and E. H. Tesfamariam, «Prescribing practices using WHO prescribing indicators and factors associated with antibiotic prescribing in six community pharmacies in Asmara, Eritrea: A cross-sectional study,» *Antimicrob Resist Infect Control,* vol. 8, p. 163, 2019, doi: 10.1186/s13756-019-0620-5.

[15] M. A. Ahiabu, B. P. Tersbøl, R. Biritwum, I. C. Bygbjerg, and P. Magnussen, «A retrospective audit of antibiotic prescriptions in primary health-care facilities in Eastern Region, Ghana,» *Health Policy Plan,* vol. 31, no. 2, pp. 250–258, 2016, doi: 10.1093/heapol/czv048.

[16] V. Lukali and C. Michelo, «Factors Associated with Irrational Drug use at a District Hospital in Zambia : Patient Record-based Observations,» *Med J Zambia,* vol. 42, no. 1, pp. 25–30, 2015.

[17] R. Andrajati, A. Tilaqza, and S. Supardi, «Factors related to rational antibiotic prescriptions in community health centers in Depok City, Indonesia,» *J Infect Public Health,* vol. 10, no. 1, pp. 41–48, 2017, doi: 10.1016/j.jiph.2016.01.012.

[18] M. Ndhlovu, E. Nkhama, J. M. Miller, and D. H. Hamer, «Antibiotic prescribing practices for patients with fever in the transition from presumptive treatment of malaria to 'confirm and treat' in Zambia: A cross-sectional study,» *Tropical Medicine and International Health,* vol. 20, no. 12, pp. 1696–1706, 2015, doi: 10.1111/tmi.12591.

[19] R. Bharathiraja, S. Sridharan, L. R. Chelliah, S. Suresh, and M. Senguttuvan, «Factors affecting antibiotic prescribing pattern in pediatric practice,» *Indian J Pediatr,* vol. 72, pp. 877–880, 2005, doi: 10.1007/s12098-007-0093-z.

[20] D. Nzolo and R. Mulongo, «Evaluation de l'utilisation des médicaments dans six hôpitaux pilotes où les CPT sont fonctionnels en République Démocratique du Congo,» 2013.

[21] M. W. José, L. I. Jean-Marie, M. M. Divine, K. K. Sabine, and K. Takaisi-, «Point prevalence study of antibiotic use in hospitals in Butembo,» *International Journal of Medicine and Medical Sciences,* vol. 8, no. 12, pp. 133–139, 2016, doi: 10.5897/ijmms2016.1249.

[22] Ministère de la Santé Publique RDC, «Plan National de Développement Sanitaire 2019-2022.» 2018.

[23] Chenge F, De la nécessité d'adapter le modèle de district au contexte urbain : Exemple de la ville de Lubumbashi en RD Congo, vol. 31. 2013.

[24] S. I. Bosongo, F. C. Mukalenge, A. M. Tambwe, and B. Criel, «Les médecins prestataires à la première ligne des soins dans la ville de Kisangani en République Démocratique du Congo: vers une typologie,» *Afr J Prim Health Care Fam Med,* vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.4102/phcfm.v13i1.2617.

[25] Ministère de la Santé Publique RDC, «Recueil des Normes d'organisation et de fonctionnement des structures sanitaires de la Zone de Santé en République Démocratique du Congo.» 2012.

[26] S. Bosongo, F. Chenge, A. Mwembo, and B. Criel, «L'influence des prestations des médecins à la première ligne de soins sur le système intégré de district sanitaire à kisangani, république Démocratique du Congo: Une étude qualitative,» *Pan African Medical Journal,* vol. 39, 2021, doi: 10.11604/pamj.2021.39.215.25737.

[27] K. Bello *et al.,* «The expanding movement of primary care physicians operating at the first line of healthcare delivery systems in sub-Saharan Africa: A scoping review,» *PLoS One,* vol. 16, no. 10, pp. e0258955-, Oct. 2021, [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258955.

[28] J. Van Olmen *et al.,* «The Health System Dynamics Framework: The introduction of an analytical model for health system analysis and its application to two case-studies,» *Health, Culture and Society,* vol. 2, no. 1, pp. 1–21, Mar. 2012, doi: 10.5195/hcs.2012.71.

[29] Ministère de la Santé Publique RDC, «Plan National de Développement Sanitaire 2016-2020 : vers la couverture sanitaire universelle.» 2016.

[30] Ministère de la Santé Hygiène et Prévention RDC, «Rapport sur les comptes nationaux de la santé 2020,» Matadi, Dec. 2021.

[31] World Health Organisation, World health organization model list of essential medicines. 2019.

[32] Ministère de la Santé Publique RDC, *Liste Nationale des Médicaments Essentiels*. 2010.

[33] M. Atif, M. R. Sarwar, M. Azeem, M. Naz, S. Amir, and K. Nazir, «Assessment of core drug use indicators using WHO/INRUD methodology at primary healthcare centers in Bahawalpur, Pakistan,» *BMC Health Serv Res,* vol. 16, p. 684, 2016, doi: 10.1186/s12913-016-1932-2.

[34] K. Thriemer *et al.,* «Antibiotic Prescribing in DR Congo: A Knowledge, Attitude and Practice Survey among Medical Doctors and Students,» *PLoS One,* vol. 8, no. 2, p. e55495, Feb. 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0055495.

[35] T. Eibs *et al.,* «Qualitative study of antibiotic prescription patterns and associated drivers in Sudan, Guinea-Bissau, Central African Republic and Democratic Republic of Congo,» *BMJ Open,* vol. 10, no. 9, p. e036530, Sep. 2020, doi: 10.1136/bmjopen-2019-036530.

[36] Organisation mondiale de la Santé, «Manuel de l'OMS pour la mise en œuvre des plans d'action nationaux de lutte contre la résistance aux antimicrobiens. Recommandations pour le secteur de la santé humaine,» Genéve, 2022. Accessed: Jul. 08, 2023. [Online]. Available: https://apps.who.int/iris/?locale-attribute=fr&.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1121-1131
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Note préliminaire sur l'incendie, ses causes et conséquences à Kinshasa

[Preliminary note on the fire, its causes and consequences in Kinshasa]

Opey Ambur Joël-André[1], Mukonkole Mukonkole Patrick[1], Lele Mambwiya Junior[1], Kayembe Shamba Cédrick[1], and Makanzu Imwangana Fils[1-2]

[1]Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P. 898 Kinshasa I, Kinshasa, RD Congo

[2]Unité de Recherche et de Formation en Gestion des Risques Naturels (URF-GRN), Département des Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The major issue of this study is to identify the causes and consequences of the fire in the city of Kinshasa. The aim is to analyze the statistical data of the fires recorded by the Corps of Firefighters of Kinshasa (in acronym CSPK) to know and understand the causes in order to characterize the consequences in order to better prevent them. This study is based on the fact that knowledge of the origins of the fire is the foundation of any effective prevention policy. The method of observation and the documentary method followed by investigations in the field (in particular surveys by interview with the victims) and laboratory work helped us to arrive at the results. The results obtained from our investigations and resulting analyzes show that anomalies in the use of electric current, poor management/handling or misuse of dangerous products or equipment (candle, flammable products, etc.), material failures on the part of the CSPK are the main causes of fires in the city of Kinshasa. The consequences range from material losses to those of human life, including serious injuries and burns to people who are victims of the fire.

KEYWORDS: Disaster, Inflammation, Risks, Prevention, Firefighters.

RESUME: La problématique majeure de cette étude consiste à identifier les causes et conséquences de l'incendie dans la ville de Kinshasa. Le but est d'analyser les données statistiques des incendies enregistrés par le Corps des Sapeurs-Pompiers de Kinshasa (en sigle CSPK) pour en connaître et comprendre les causes afin d'en caractériser les conséquences pour mieux les prévenir. Cette étude se base sur le fait que la connaissance des origines de l'incendie est le fondement de toute politique de prévention efficace. La méthode d'observation et la méthode documentaire suivies des investigations sur le terrain (notamment les enquêtes par interview auprès des sinistrés) et des travaux de laboratoire nous ont aidés à parvenir aux résultats. Les résultats obtenus à l'issu de nos investigations et analysent qui en découlent montrent que les anomalies dans l'utilisation du courant électrique, la mauvaise gestion/manipulation ou le mauvais usage des produits ou équipements dangereux (bougie, produits inflammables, etc.), les défaillances matérielles de la part du CSPK sont les principales causes des incendies dans la ville de Kinshasa. Les conséquences vont des pertes matérielles à celles en vie humaine en passant par des blessures et brûlures graves chez les personnes qui sont victimes de l'incendie.

MOTS-CLEFS: Sinistre, Inflammation, Risques, Prévention, Sapeurs-pompiers.

1 INTRODUCTION

Comme toutes les villes du monde ayant connu un fort développement démographique, Kinshasa a subi un étalement considérable et l'explosion des petites constructions, parfois des bidonvilles. Kinshasa présente à ce jour l'image d'une agglomération de contrastes importants, avec des secteurs résidentiels et commerciaux, des universités, et des taudis informes coexistant côte à côte (CANEL, 1990 [1]). La conséquence de cette évolution démographique incontrôlée, c'est notamment la naissance des problèmes écologiques et environnementaux au sein de la ville dont les plus importants sont l'accès à l'eau potable et l'électricité, les inondations ainsi que la

gestion des déchets, auxquels s'ajoute celui d'incendie (CANEL, 1990 [1]; HOLENU, 2020a [2]; HOLENU et al, 2020b [3]). Dans ce contexte marqué par la variété et la gravité des aléas, le nombre d'habitants et l'importance économique et politique de la ville de Kinshasa, la question de la réduction des risques est devenue primordiale pour elle, et ce d'autant plus que la survenance des aléas antérieurs a montré la fragilité du système urbain de lutte anti-incendie (D'ERCOLE et METZGER, 2009 [4]).

L'incendie est une réaction chimique (combustion) complexe qui dégage de la chaleur et des flammes, qui se déclare lorsque trois facteurs sont réunis: un combustible (un produit inflammable en l'état liquide, solide ou gazeux), un comburant (comme l'air qui contient de l'oxygène) et une source de chaleur ou une énergie d'activation comme un éclair électrique ou un mégot (DUPONT, 1993 [5]). Pour qu'un incendie se déclare, il faut réunir simultanément les trois facteurs cités ci-haut (on parle du « triangle du feu » (ICSI, 2009 [6]).

Cette réalité bien que sinistre fait intimement partie de l'histoire humaine (DUBOIS-MAURY, 1988 [7]). S'il est aujourd'hui rapidement circonscrit dans les villes européennes, l'extension destructrice des feux de forêts contemporains, sous toutes les latitudes, rappelle l'impuissance de l'homme face à ce fléau. Les historiens modernistes se sont depuis longtemps penchés sur l'incendie en ville, pour mettre l'accent sur l'ampleur des destructions et la répétition des sinistres (DELUMEAU, 1987 [8]). Cependant, les spécialistes de l'urbanisme ont aussi mis en valeur les conséquences positives des incendies majeurs, à l'image de la reconstruction de Londres après 1666 ou de Rennes après 1720 (NIERES, 1972 [9]).

Les accidents par incendie peuvent survenir et entraîner des conséquences graves pour la population. Ils peuvent donc se transformer en véritables catastrophes, même si le progrès technologique dans tous les domaines permet, d'en atténuer les effets (KERKOUR, 2011 [10]). Les conséquences de l'incendie réduisent donc les populations à l'exil ou à une survie difficile dans des abris provisoires (ANDREY, 2005 [11]). C'est pourquoi, la connaissance des origines des incendies est le fondement de toute politique de prévention efficace. En effet, lorsque les causes de feu sont connues il est alors plus facile de les éradiquer par la mise en œuvre d'actions concrètes, et donc de limiter les dégâts ou les conséquences néfastes (NOVEMBER, 2003 [12]). C'est ainsi que dans le souci de maîtriser ces aléas et de les contrôler autour des ménages/habitations, des infrastructures ou installations recevant du public et des installations industrielles, de manière à limiter les conséquences d'éventuels accidents majeurs d'incendie, les pouvoirs publics, dans la ville de Kinshasa, a mis en place un service public dénommé Corps de Sapeurs-Pompiers de Kinshasa, en sigle CSPK (CSPK, 2013 [13]).

En ce qui nous concerne, s'attaquer aux problèmes qui préoccupent ou troublent la population est l'un des rôles à jouer par la recherche, particulièrement pour le domaine de la gestion de l'environnement. C'est ainsi que la problématique majeure de cette étude consiste à identifier les causes et conséquences de l'incendie dans la ville de Kinshasa. Le but de notre note préliminaire consiste à analyser les données statistiques des incendies dans l'objectif d'en connaître et comprendre les causes et étudier l'appréciation des services rendus par le CSPK à la population afin d'en caractériser les conséquences pour mieux les prévenir. Ainsi, pour ce service public (le CSPK), la connaissance de son objet, ses pratiques, son organisation et ses moyens d'actions nous aidera à mieux comprendre son fonctionnement afin d'apprécier son efficacité à l'image d'une police moderne (NAPOLI, 2003 [14]).

2 MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU

Les Communes de Gombe, Barumbu, Limete, Bandalungwa et Lingwala dans la partie Nord-Ouest de la ville de Kinshasa en République Démographique du Congo constituent le milieu d'étude. La figure 1 ci-dessous localise la zone d'étude ou les communes citées plus haut.

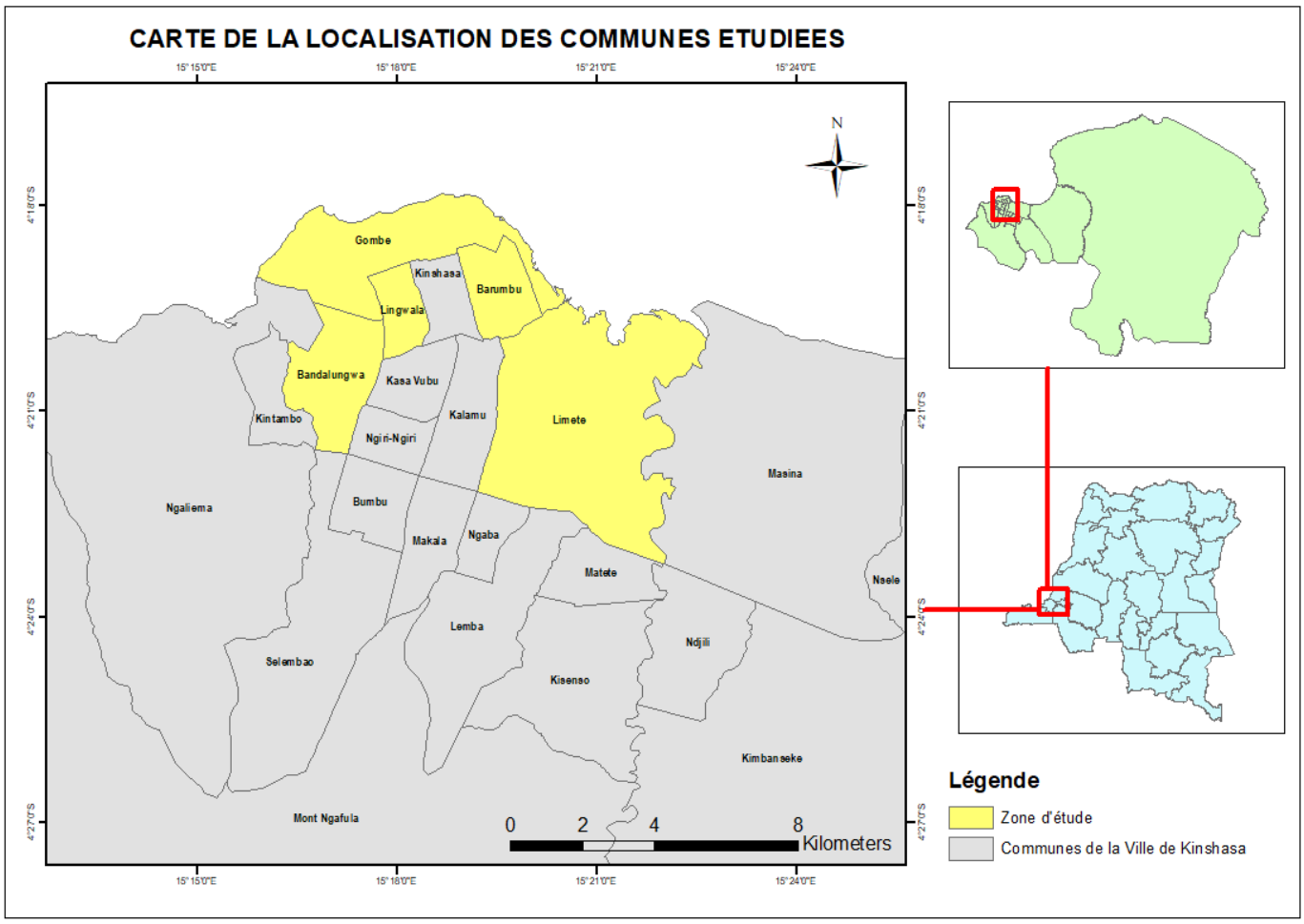


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 MATÉRIEL DE COLLECTES DES DONNÉES

Un appareil photographique de marque Canon pour les prises de vue, un appareil GPS de marque Garmin pour l'enregistrement des coordonnées géographiques, des carnets de récolte pour la notification de coordonnées géographiques et autres informations et des fiches d'enquêtes et un logiciel cartographique ArcGIS pour traiter les données spatialisées collectées sur le terrain.

2.3 MÉTHODES

Pour atteindre l'objectif de cette étude, le schéma classique d'une étude en géosciences a été suivi, notamment la recherche documentaire ou à travers les documents écrits (consultations des études antérieures, les rapports des services publics/étatiques et privés dans le domaine des incendies, les annales scientifiques, etc.), suivie des investigations sur le terrain (prospections de la zone d'étude en observant les éléments constitutifs des facteurs environnementaux: les sites incendiés, la source de l'incendie « feu, bougie, circuit électrique, etc. » ainsi que les effets des incendies sur les habitants et leurs habitations, également sur l'habitat environnant) qui complètent les informations écrites, et aussi des travaux de laboratoire. Enfin, les résultats obtenus ont fait l'objet de l'analyse statistique en utilisant le test de Pearson afin d'établir d'éventuels rapports entre les causes et les conséquences des incendies étudiés.

L'ensemble de démarches entreprises dans cette étude se résument en trois phases complémentaires comme indiqué dans la Figure 2, adaptée du modèle de AZANGIDI (2019) [15]. Il s'agit de:

- La recherche des cartes de la ville de Kinshasa pour la géolocalisation de l'aire d'étude;
- Les travaux de terrain portant sur des observations (description et synthèse) appuyés par les techniques d'enquêtes par interview et entretien semi-structuré (WILMET, 1996 [16]);
- Les travaux de laboratoire portant sur les analyses statistiques

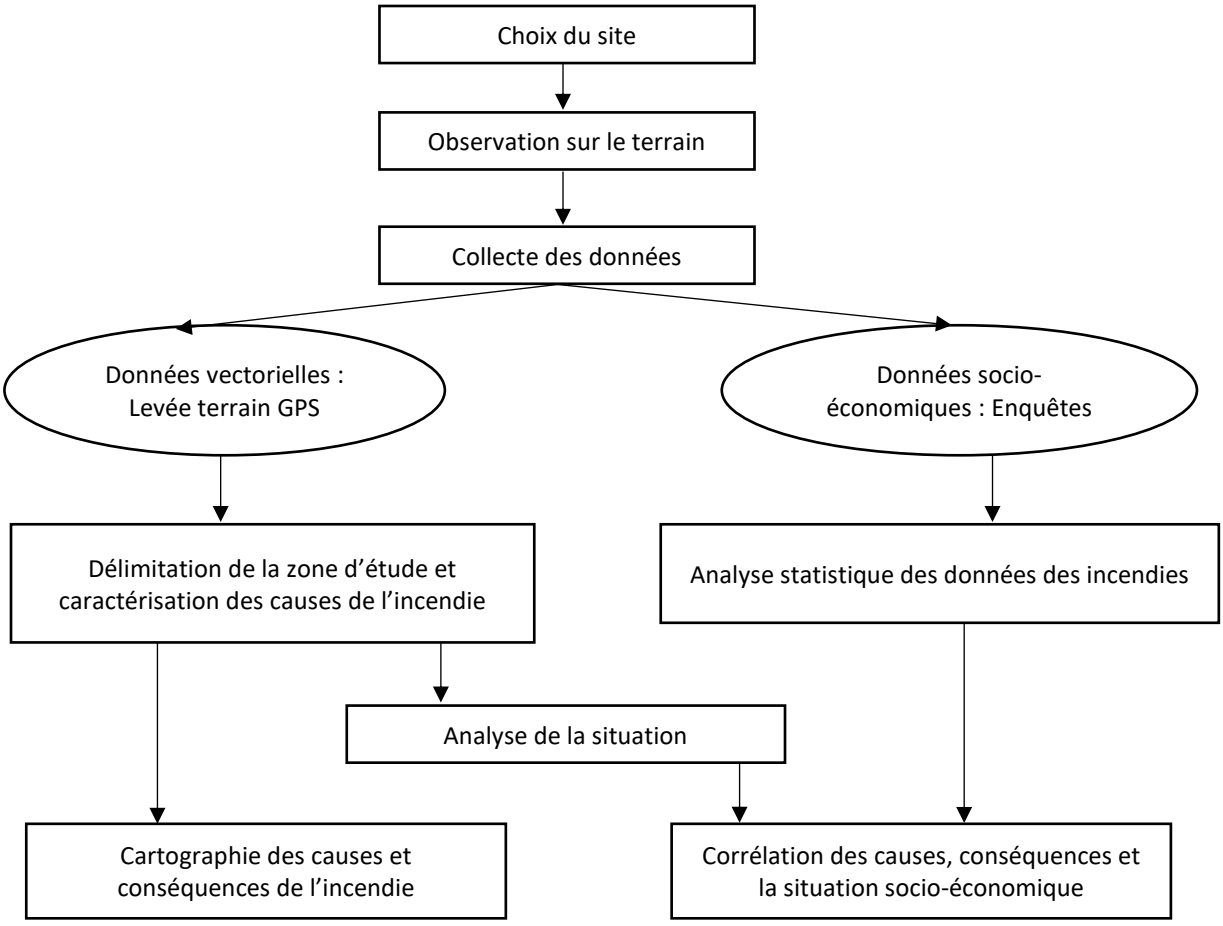


Fig. 2. Démarche méthodologique appliquée

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

Les statistiques des incendies enregistrés par le CSP/Kin la ville de Kinshasa durant la période de 2015 à 2020 sont présentées dans le Tableau 1 ci-après.

Tableau 1. Statistiques des incendies de la Ville de Kinshasa

COMMUNE	% SUPERFICIE	% POP.	CAS D'INCENDIES						TOTAL
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1. GOMBE	0,29	0,61	61	64	55	71	61	55	367
2. BARUMBU	0,05	1,64	36	28	38	36	29	21	188
3. LIMETE	0,68	4,16	28	37	31	29	22	17	164
4. BANDALUNGWA	0,07	2,92	25	23	22	21	13	11	115
5. LINGWALA	0,03	1,23	16	13	15	16	18	12	90
6. KINSHASA	0,03	1,45	19	23	15	15	9	7	88
7. KALAMU	0,07	2,75	16	23	16	14	10	8	87
8. KASA-VUBU	0,05	1,26	27	17	14	11	9	6	84
9. LEMBA	0,24	4,44	27	20	9	10	7	6	79
10. NGALIEMA	2,25	9,54	19	9	7	8	7	6	58
11. KINTAMBO	0,03	1,47	16	14	11	13	8	5	67
12. MATETE	0,05	3,28	16	14	7	10	6	7	60
13. MASINA	0,70	8,02	17	5	4	1	2	2	31
14. NGABA	0,04	2,40	16	3	1	3	3	2	28
15. NGIRI-NGIRI	0,03	1,73	10	6	2	4	2	2	26
16. N'DJILI	0,11	5,58	3	7	2	2	3	3	20
17. SELEMBAO	0,23	3,96	7	2	3	4	2	2	20
18. KIMBANSEKE	2,39	13,23	3	4	2	2	3	1	10
19. BUMBU	0,05	4,76	2	2	0	2	1	3	10
20. MONT-NGAFULA	3,60	4,64	1	1	2	1	3	2	10
21. MAKALA	0,06	2,87	1	0	0	2	3	3	9
22. KISENSO	0,17	4,97	0	1	0	2	1	4	8
23. N'SELE	9,02	4,89	1	0	0	3	1	2	7
24. MALUKU	79,76	8,19	0	0	0	1	3	2	6
TOTAL GENERAL	100,00	100,00	364	316	256	281	226	189	1.632

Source: enquête de terrain, 2022.

Les statistiques du tableau 1 montrent que les cas d'incendies enregistrés par le service urbain de lutte contre les incendies, en l'occurrence, le Corps des Sapeurs-Pompiers de Kinshasa durant la période 2015-2020. Selon ces résultats présentés par commune, cinq parmi elles représentent 56,5% des cas contre 43,5% pour les 19 autres communes.

L'évolution croissante des cas d'accidents d'incendies dans ces communes nous a poussé à baser notre étude sur elles. Il s'agit des communes de: Gombe, Barumbu, Limete, Bandalungwa et Lingwala, particulièrement pendant la période de 2017-2020, telles que présentées dans les lignes qui suivent.

FRÉQUENCE DES INCENDIES À KINSHASA

Comme le montre le tableau 1 ci-haut, la Ville de Kinshasa compte 24 Communes, cependant, nous pouvons constater que le nombre des cas d'incendies le plus élevé est localisé dans cinq d'entre elle, avec 22,5 % la Gombe, 11,5 % pour Barumbu, 10,0% pour Limete, 7,0% pour Bandalungwa et 5,5% pour la Commune de Lingwala.

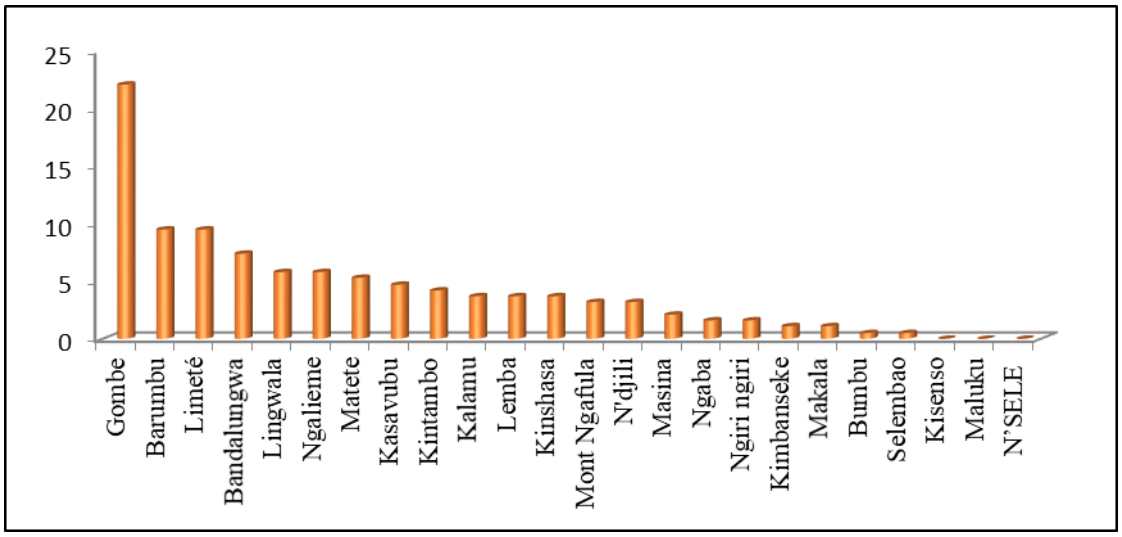


Fig. 3. Fréquence d'incendies par commune

CONNAISSANCE DE LA POPULATION SUR LES INCENDIES

La population ayant pris part aux enquêtes dans les communes sélectionnées témoigne à 70 % de la fréquence des incendies. Très peu seulement ignore ou n'ont pas assisté à un cas d'incendie.

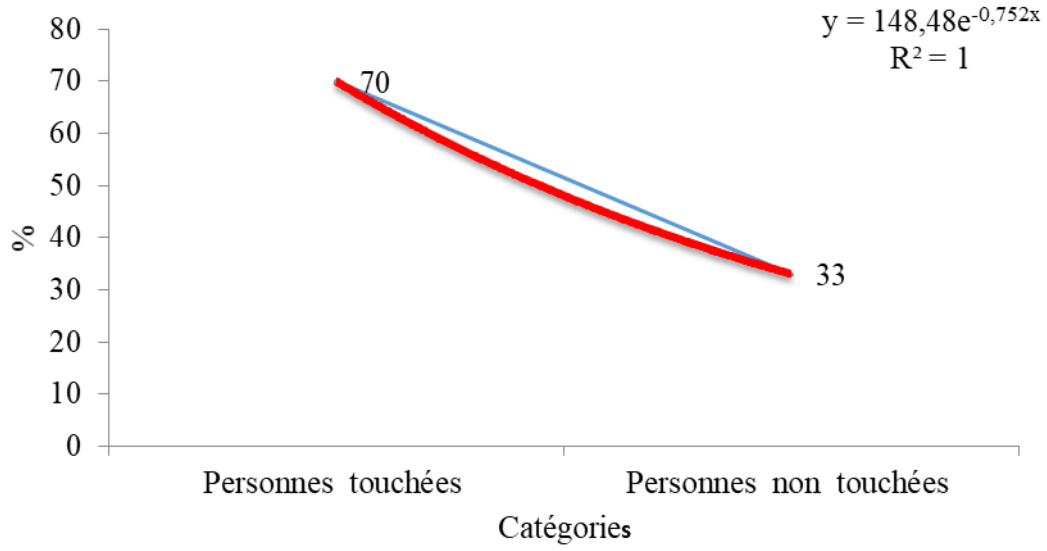


Fig. 4. Connaissance des répondants sur l'existence des incendies à Kinshasa

POINTS CIBLES DES INCENDIES À KINSHASA

Ce paragraphe vise à montrer la catégorisation des points cibles des incendies dans la Ville de Kinshasa. L'analyse des résultats indique que la fréquence du sinistre diminue progressivement selon les catégories (Figure 5).

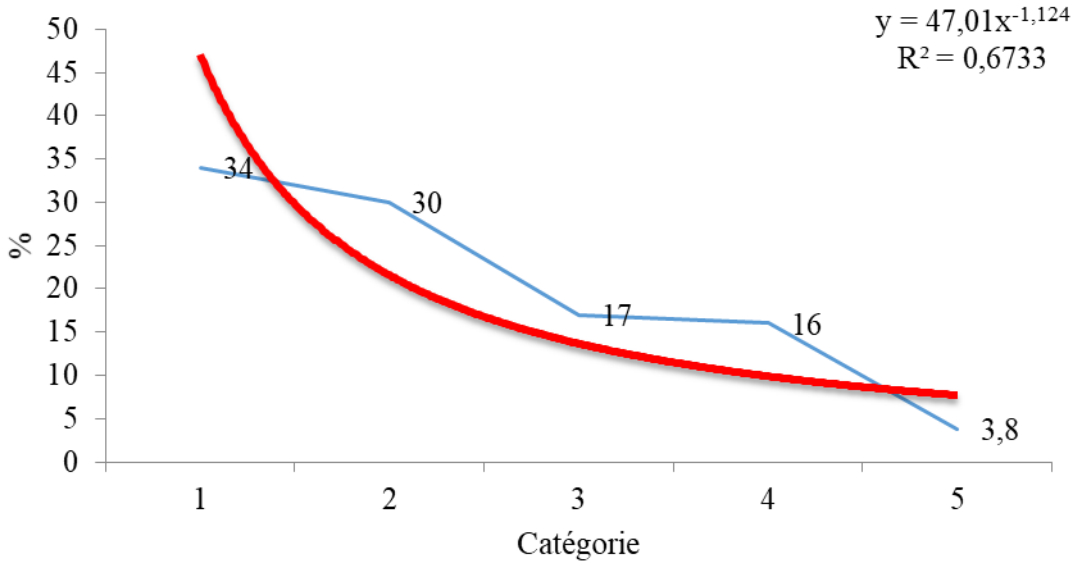


Fig. 5. Cibles des incendies par catégories et par ordre d'importance: (1) maisons d'habitations; (2) véhicules et autres moteurs; (3) locaux de l'administration publique; (4) entrepôts et locaux industriels; (5) autres

Les habitations sont les premiers points cibles des incendies avec 34 % des cas enregistrés, suivi des automobiles (30 %), des entrepôts et locaux industriels (16 %) et d'autres cibles (3,8 %).

HEURES DE SURVENUS DES INCENDIES À KINSHASA

L'heure de déclenchement des incendies est un paramètre aussi important que nécessaire à prendre dans cette étude, dans la mesure où elle a une incidence notamment sur la gravité des conséquences qui en découlent.

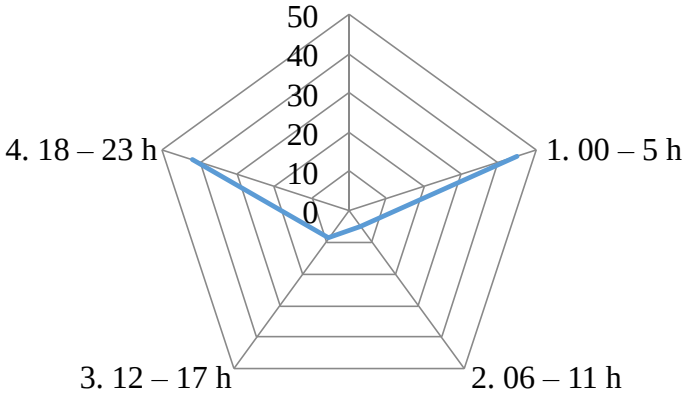


Fig. 6. Heures de survenus d'incendies à Kinshasa

Les résultats de l'étude indiquent que les incendies surviennent plus durant la nuit. Les heures indiquées, selon l'importance des cas enregistrés sont notamment de 0 à 5 heures du matin soit 45%, suivi de 18 à 23 heures soit 42 %. Pour les incendies survenus pendant les heures de la journée, ils ont été enregistrés entre 12 et 17 heures puis 6 et 11 heures, représentant respectivement 9 % et 5% des cas.

CAUSES DES INCENDIES À KINSHASA

Les anomalies de l'utilisation du courant électrique de la Société Nationale d'Electricité (en sigle SNEL) ont été évaluées à l'ordre de 25 % des cas enregistrés pendant la même période. Les résultats de l'étude révèlent que l'abandon/usage incontrôlé des produits dangereux (bougies, produits inflammables, etc.) représente 21 % de cas d'incendies. La défaillance matérielle pour des automobiles quant à elle, a été enregistrée à hauteur de 18 %.

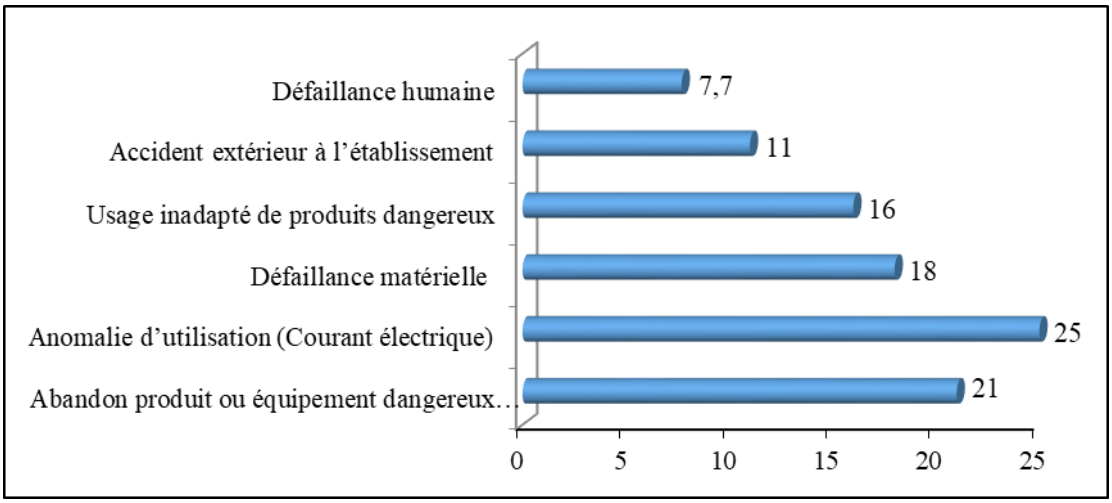


Fig. 7. Causes d'incendies à Kinshasa

DES CONSÉQUENCES DES INCENDIES

Les incendies qui attaquent les différentes infrastructures à Kinshasa causent des conséquences diverses parmi lesquelles il y a la perte en vie humaine, des blessures et brûlures graves ainsi que la perte matérielle.

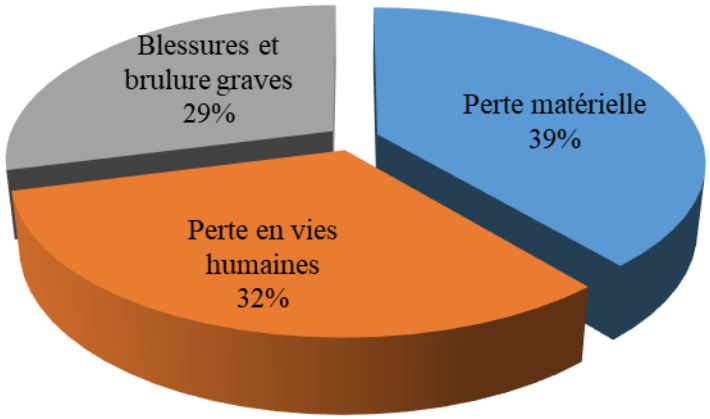


Fig. 8. Conséquences des incendies à Kinshasa

3.2 DISCUSSION ET INTERPRÉTATION

Les causes des incendies avaient déjà été évoquées par quelques chercheurs au début du 21e siècle. REITSMA HENK écrivit ainsi en 2001: «les villes sont inflammables à cause des matériaux de construction employés, de l'étroitesse des rues et de l'accumulation de matières hautement combustibles dans les maisons, celliers, greniers, remises et écuries. Tous les grands théâtres de l'époque moderne ont brûlé au moins une fois, les bibliothèques s'embrasent et dans les villes militaires, les dépôts de poudre ajoutent un danger particulier» (REITSMA, 2001 [17]). Ainsi, il est à constater que les causes à l'origine des incendies sont différentes d'une ville à une autre, il est donc impossible d'isoler une cause unique.

De la même manière que les incendies sont d'origine diverses et leur répartition varie selon les pays, les types d'habitat, les municipalités et à l'intérieur d'une municipalité d'une municipalité, mais aussi en fonction de l'état et du type d'habitation (matériaux de construction) (CANAL, 1990 [1]). Dans la Ville de Kinshasa, cette thèse se vérifie effectivement, cependant, la répartition de ces causes varie selon les communes, mais aussi en fonction de l'état et du type de l'habitat, selon qu'il s'agit d'un bâtiment public (administration publique/privée ou simplement un édifice recevant du public comme un supermarché ou autre), une maison d'habitation ou encore un bâtiment industriel ou encore un marché à ciel ouvert (CSPK, 2013 [13]). Le même rapport renseigne que les incendies sont en grande majorité d'origine humaine, que ce soit par accident, par négligence ou intentionnellement (Figure 7).

Les résultats des analyses statistiques de notre étude montrent que cinq Communes ou municipalités de la Ville de Kinshasa sont plus touchées par l'incendie à savoir: Bandalungwa, Gombe, Lingwala, Limete et Barumbu.

Les investigations menées auprès de la population sur les incendies montrent que plus de 70% des enquêtés témoignent avoir vu et vécu ce sinistre. Cette connaissance se justifie aussi par le fait que ces communes (milieu d'étude), situées au cœur du centre d'activité de la ville, représentent les points d'attraction et d'échanges, centre d'administration et de commerce.

A propos des points cibles des incendies à Kinshasa, il y a lieu de noter que c'est la catégorie des maisons d'habitations qui représente la première cible enregistrée de ce sinistre. Cela coïncide avec les principales causes des incendies qui sont l'anomalie d'utilisation du courant électrique et l'abandon des produits ou équipements dangereux (Figure 7). En effet, les habitations précaires ou les constructions anarchiques ne disposent pas d'installations conformes aux normes du courant électrique. Bien souvent, elles accèdent au courant électrique de manière désordonnée, frauduleuse. Chacun se connecte au courant sans passer par les Experts électriciens (EBENGE, 2016 [18]).

Il est une évidence que l'origine de l'incendie est souvent difficile à déterminer du fait de l'absence de preuves matériels concrètes; il en résulte que le pourcentage de causes inconnues peut être important (KERKOUR, 2011 [10]).

Pour ce qui est de notre travail, l'utilisation des bougies dans les ménages, la mauvaise gestion du courant électrique, les accidents des automobiles et groupes électrogènes sont des sources permanentes du risque d'incendie dans la Ville de Kinshasa. Ces accidents ont une cinétique rapide, c'est-à-dire ils surviennent et se développent instantanément et peuvent par la suite provoquer des conséquences très graves (CSPK, 2013 [13]). A ce qui précède s'ajoutent la négligence humaine et la défaillance matérielle auxquelles nous pouvons associer la promiscuité et la précarité des matériaux de construction comme causes majeurs des incendies répertoriés et étudiés dans ce travail pour la Ville de Kinshasa.

L'heure de survenu des incendies est un indicateur majeur qui est étroitement lié aux conséquences qui découlent de ce drame, car, les conséquences les plus dramatiques et mêmes fatales ont été enregistrées lors des incendies survenus entre 18 heures et 5 heures du matin, et qui représentent 97% des cas étudiées.

L'incendie reste malgré des progrès technologiques et organisationnels indéniables, l'évènement non naturel le plus catastrophiques et malheureusement le plus universel; ses conséquences sont souvent dramatiques; quand l'incendie ne tue pas, il entraine chez les victimes de terribles séquelles physiques, respiratoires, traumatiques et psychologiques ainsi que des dommages matériels et financiers (KHERICI, 2022 [19]).

Deux indicateurs permettent d'évaluer et de classer les catastrophes d'origine humaine ou d'origine naturelle: les pertes en vies humaines, les dégâts et les pertes économiques qui en découlent (DUBOIS-MAURY, 1988 [7]).

Les conséquences inventoriées dans la présente étude sont notamment des pertes en vies humaines (Figure 9a), des brûlures et blessures graves (Figure 9b) et des pertes matériels et socioéconomiques énormes (Figures 9c-9i). Ces conséquences montrent clairement et font admettre qu'aujourd'hui l'incendie urbain résulte moins du hasard que d'un ensemble de probabilités qui déterminent des grandes inégalités spatiales face à ce danger. Bien que très peu répétitif, le caractère aléatoire de l'incendie lui inscrit parmi les risques les plus quotidiens de la vie urbaine et, à ce titre, en impose tant la maîtrise que la gestion (DUBOIS-MAURY, 1988 [7]).



Fig. 9. Conséquences socioéconomiques de l'incendie à Kinshasa: (a) Plusieurs pertes en vies humaines suite à un incendie survenu au milieu de la nuit à Kinshasa (Photo Radio Okapi, 2013); (b) Blessures et brûlures graves suite à un incendie survenu dans la commune de Limete (Photo CSPK, 2019); (c) Incendie de plusieurs maisons d'habitations à Bandalungwa (Photo inconnu, 2016); (d) et (e) immeubles résidentiels dans la commune de la Gombe (Photo Joël OPEY, 2018); (f) Incendie de 498 ménages de constructions précaires dont 112 complètement détruits avec plusieurs pertes en vies humaines enregistrées, au Camp Lufungula dans la commune de Lingala à Kinshasa (Photo Inconnu, 2023). (g) Destruction, par l'incendie, d'une partie de l'immeuble commercial EMPIRE dans la commune de la Gombe (Photo Inconnu, 2018); (h) Destruction, par l'incendie, de plus de 100 mètres d'une façade du marché municipal de Selembao à Kinshasa (Photo CSPK, 2017); (i) Incendies causés par la destruction des engins de transport en commun dans la Ville de Kinshasa (Photo Joël OPEY, 2019)

4 CONCLUSION

Cette recherche s'est préoccupée d'identifier les causes des incendies ainsi que leurs conséquences dans la Ville de Kinshasa. La mauvaise gestion et l'utilisation frauduleuse du courant électrique, la gestion hasardeuse des sources inflammables et/ou équipements dangereux, la défaillance matérielle et celle provenant de la négligence humaine sont les causes des incendies dans la Ville de Kinshasa.

Les maisons d'habitation, les bâtiments administratifs (publics et privés) et industriels, les entrepôts et locaux industriels, et les véhicules sont les cibles des incendies dans la ville, avec une prépondérance sur les maisons d'habitation particulièrement, pour les causes telles qu'évoqué plus haut. Les incendies survenus pendant les heures de pointes (de 6 heures à 7 heures) sont aux conséquences moins dramatiques que ceux survenus pendant les heures de la nuit (de 18 heures à 5 heures), et sont aux conséquences irréversibles, allant des pertes matérielles à celles en vies humaines en passant par des brûlures et blessures graves.

Ainsi, il y a lieu de noter que si rien n'est fait pour remédier à cet état de choses, Kinshasa restera à la merci de l'incendie avec ses conséquences. Pour ce faire nous avons suggéré ce qui suit:

- Au ministère de la recherche scientifique, via les chercheurs, d'accorder de l'importance à la thématique de l'incendie et d'initier des recherches à ce sujet;
- Au ministère de l'intérieur et à l'hôtel de ville de Kinshasa, d'équiper le CSPK conséquemment à ses missions;
- Aux ministères des affaires foncières, de l'urbanisme et habitat, de planifier l'urbanisation de la ville et de faire respecter le plan d'urbanisation déjà existant;
- Au pouvoir public en général, de sensibiliser la population pour une meilleure prévention et en cas de catastrophe, pour une implication conséquente

REFERENCES

[1] P. Canel, Construire la ville africaine (chronique du citadin promoteur), Karthala et ACCT, Paris, 1990.

[2] M. H. Holenu, Kinshasa: Urbanisation et enjeux écologiques durables. L'Harmatan, 2020a.

[3] M.H Holenu, P.Mulaba, A. Kiawutua, «Gestion des déchets ménagers dans la ville de Kinshasa: Enquête sur la perception des habitants et propositions. » *Environnement, Ingénierie & développement,* vol. 2, no. 83, pp. 19–26,2020b.

[4] R. D'Ercole, P. Metzger, *La vulnérabilité territoriale: une nouvelle approche des risques en milieu urbain*. Cybergeo: Revue européenne de géographie / European journal of geography, 2009, Vulnérabilités urbaines au Sud, Document 447, http://cybergeo.revues.org/pdf/22022.

[5] R. Dupont, L. Theodore et J. Reynolds, Sécurité industrielle de la prévention des accidents à l'organisation des secours, éd. Polytechnica, Paris, 1993.

[6] Institut pour une Culture de Securite Industrielle (ICSI), *Les cahiers de la sécurité industrielle: évaluation du juste besoin en matière de maîtrise du risque incendie,* Groupe d'échange Incendie, Edition ICSI, Toulouse, 2009.

[7] J. Dubois-Maury, «Un risque permanent: l'incendie», *Annales de Géographie,* Vol. 97, n°539, pp. 84-95, 1988.

[8] J. Delumeau et Y. Lequin, «Les Malheurs des temps. Histoire des fléaux et des calamités en France», *Paris, Larousse,* pp.367-382, 1987.

[9] C. Nieres, La reconstruction d'une ville au XVIIIe siècle: Rennes 1720-1760. Klincksieck, Paris, 1972.

[10] S. Kerkour, Essai d'analyse de l'ampleur de l'impact des risques industriels du secteur pétrolier sur la santé et l'environnement en Algérie: cas de la Wilaja de Bejaia, Mémoire de DEA, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Algérie, 2011.

[11] G. Andrey, D. Buchs, G. Cassina, P. Ecoffey, A. Lauper, F. Pasquier, M-T. Torche, A-J. Tornare, F. Walter, *L'incendie de Bulle en 1805: ville détruite, ville reconstruite,* Musée gruérien – Ville de Bulle, Suisse, 2005.

[12] V. November, «L'incendie créateur de quartier ou comment le risque dynamise le territoire,» Cahiers de géographie du Québec, vol. 47, no.132, pp 367 – 388, 2003.

[13] Corps de Sapeurs-Pompiers de Kinshasa (CSPK), *Rapports annuels 2013,* Ville-Province de Kinshasa, 2013.

[14] P. Napoli, Naissance de la police moderne: pouvoir, normes, société, Ed. La Découverte, Paris, 2003.

[15] M. Azangidi, T. Kidikwadi, L. Lutete, K. Belesi, A. Lubini. «Note préliminaire sur la régression du couvert végétal de quelques îlots forestiers naturels à Kinshasa, République Démocratique du Congo,» *Congo Sciences,* vol. 7, no. 2, pp. 108-117, 2019.

[16] J. Wilmet, *Télédétection aérospatiale, méthodes et application,* SIDES, Fontenay-Sous-Bois, ISBN- 2868610978, 1996.

[17] J. Reitsma Henk, *The explosion of a ship, loaded with black powder,* in Leiden in 1807. International Journal of impact engineering, 25, pp. 507-514, 2001.

[18] M. S. Ebenge, *Conséquence des constructions anarchiques dans la ville de Kinshasa,* Education et développement, n°15, 3e trimestre, pp. 1-7, 2016.

[19] S. Kherici, *Sécurité incendie,* Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, Algérie, 2022.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1132-1141
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Diversité, des nématodes phytoparasites dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) au Togo

[Diversity of plant-parasitic nematodes in the rhizosphere of cocoa (*Theobroma cacao L.*) agroforests in Togo]

Kadanga Pana[1-2], Tchabi Atti[1-3], Ablede Komlan Adigninou[2], Ametefe Komivi Exonam[2], M'Boumba Etienne Blaise[4], and Kondow Moubarak[2]

[1]Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Université de Kara, Togo

[2]Centre de Recherche Agronomique de la zone Forestière, Kpalimé, Togo

[3]Centre d'Excellence en Protection Durable des Cultures, Université de Kara, Togo

[4]Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, Togo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Works on the diversity, frequency and abundance of plant-parasitic nematodes present in the rhizosphere of cocoa agroforests is lacking in Togo, although these informations are essential for establishing effective control methods. The aim of this study was therefore to identify the parasitic nematodes infesting cocoa agroforests in Togo. Soils and roots were sampled in 24 orchards spread over four agroforest types (< 10 years, 10 to 20 years, 21 to 30 years and > 30 years) and three agroecological subzones (Agou peneplain, piedmonts and plains and Plateaux and mountains). The nematodes extracted were identified on the basis of morphological criteria. The study revealed the presence of *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema and Radopholus* genera and microbivorous nematodes (bacterivores and fungivores). In roots, the genera *Meloidogyne, Pratylenchus and Helicotylenchus* are the most frequent, accounting for 82.46%. In soils, the *Meloidogyne* genus and microbivorous nematodes were the most frequent, accounting for 72.65%. Finally, the highest nematode infestations were recorded in agroforests of less than 20 years in the piedmonts and plains. The results obtained could serve as a basis for developing effective nematode management strategies for sustainable cocoa production.

KEYWORDS: Theobroma cacao L., nematodes, agroforests, agroecological subzones, frequency of occurrence, abundance.

RESUME: Les travaux sur la diversité des nématodes phytoparasites présents dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers font défaut au Togo alors que ces informations sont essentielles pour établir des méthodes de contrôle efficace. L'objectif de cette étude est donc d'identifier les nématodes parasites qui infestent les agroforêts à cacaoyers au Togo. Des prélèvements de sols et de racines ont été effectués dans 24 vergers répartis dans quatre types d'agroforêts (< 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans) et trois sous zones agroécologiques (pénéplaine d'Agou, piémonts et plaines et Plateaux et montagnes). Les nématodes extraits ont été identifiés sur la base de critères morphologiques. L'étude a révélé la présence des genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema et Radopholus* et des nématodes microbivores (bactérivores et fongivores). Dans les racines, les genres *Meloidogyne, Pratylenchus* et *Helicotylenchus* sont les plus les plus fréquents et représentent 82,46%. Dans les sols, le genre *Meloidogyne,* et les nématodes microbivores sont plus fréquents et représentant 72,65%. Enfin, les plus fortes infestations de nématodes ont été enregistrées dans les agroforêts inférieurs à 20 ans des piémonts et plaines. Les résultats obtenus pourront servir de base au développement des stratégies efficaces de gestion des nématodes pour une production durable de cacao.

MOTS-CLEFS: *Theobroma cacao* L., nématodes, agroforêts, sous zones agroécologiques, fréquence d'occurrence, abondance.

Corresponding Author: Kadanga Pana

1 INTRODUCTION

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est une culture économiquement importante qui se classe parmi les cultures d'exportations en Afrique de l'Ouest [1]. La surface dédiée à la culture du cacao s'est fortement développée au cours des 60 dernières années, passant d'environ 4,4 millions d'hectares dans les années 1960 à presque 12 millions d'hectares en 2021, pour une production de plus de 5 millions de tonnes de cacao par an [2]. La ceinture cacaoyère ouest-africaine (de la Côte d'Ivoire au Cameroun) représente actuellement plus de 73% de la production mondiale [3], le reste provenant d'Amérique et d'Asie.

Au Togo, le cacao est l'un des principaux produits agricoles de rente d'exportation et constitue une source de revenus non négligeable pour les producteurs. La production de cacao au Togo est assurée à plus de 90 % par de petits exploitants agricoles [4] qui emblavent une superficie moyenne de 26 356,66 ha pour une production nationale d'environ 12 674,43 tonnes de cacao marchand par an avec un rendement moyen faible de 506,83 kg/ha [5] contre un potentiel de 1200 à 3500 kg/ha [6]. Cette faible productivité des agoforêts à cacaoyers s'explique par plusieurs contraintes dont le vieillissement des vergers existants, l'épuisement des réserves forestières, la baisse de la fertilité des sols [7], les mauvaises techniques de gestion et la plantation de cultivars à faible rendement. En plus de ces contraintes s'ajoutent la présence de ravageurs et de maladies [8] dont les nématodes parasites ([9]; [10]). En effet, les nématodes sont des vers ronds, généralement filiformes avec plus de 14 000 espèces de Nematoda décrites [11]. Les genres décrits sont bien répartis dans presque tous les habitats de la planète, représentant plus de 80% de la diversité taxonomique et fonctionnelle des métazoaires dans les sols ([12]; [11]). Ils sont restés des éléments clés de la biodiversité des sols et représentent de précieux bio-indicateurs des réseaux alimentaires du sol [11]. Une plus grande diversité promet d'être décrites au fur et à mesure que l'exploration biologique se poursuit sur les espèces encore inconnues [12]. Ces microorganismes occasionnent des pertes de production de de cacao de 15 à 60 % [13]. Les dégâts causés par les nématodes sont les plus importants sur les jeunes plants, où les pertes peuvent atteindre 100% [14] si rien n'est fait. Les travaux de [9] sur les nématodes du cacaoyer au Nigeria ont rapporté que les nématodes ne peuvent être ignorés dans la recherche d'une productivité améliorée et durable du cacao. Ils ont également suggéré que le problème des nématodes sur les jeunes plants de cacaoyers et l'effet de leur multiplication incontrôlée sur les cacaoyers adultes méritent d'être étudiés.

Au Togo, à part les travaux préliminaires de [15] qui ont révélé la présence de huit espèces de nématodes dans les plantations de cacao étudiées, il y a une pénurie d'informations concernant l'abondance, la distribution et la biodiversité des espèces de nématodes phytoparasites associées aux agroforêts à cacaoyers. L'existence d'un rapport plus complet sur cet organisme dans les sols sous culture du cacao dans les conditions agricoles de la région serait un atout. C'est dans cette perspective que la présente recherche a été proposée pour investiguer la prévalence, l'abondance et la distribution de espèces de nématodes phytoparasites associés aux agroforêts à cacaoyers dans la, zone ferestière du Togo.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

L'étude a été conduite dans la zone agroécologique de forêts qui représente la grande zone de production cacaoyère au Togo. Cette zone est subdivisée en trois sous zones agroécologiques: la sous-zone des plateaux, la sous-zone de piedmonts et plaines, la pénéplaine d'Agou [16] (figure1):

- ***La sous zone des montagnes et plateaux***: Elle est constituée des plateaux de Kouma, Danyi, Akposso et Akébou d'altitude moyenne de 700 m d'une part et des monts isolés d'Agou et d'Haïto d'autre part. Elle jouit d'un climat de montagne avec une pluviométrie annuelle de 1200-1600 mm. Les sols sont de types ferralitiques ou ferrugineux à concrétion. La végétation est constituée de forêts partiellement dégradée et de savanes arborées et arbustives.
- ***La sous zone de piedmonts et plaines***: Elle est représentée à l'Est par les plaines des préfectures de Kloto, Kpélé-Akata et Amou et du côté Ouest par la plaine du Litimé (Ouest de la préfecture de Wawa). Ces espaces bénéficient d'un climat de montagne avec une pluviométrie annuelle de 1300-1600 mm. Les sols sont ferralitiques épais. La végétation est composée de forêts soudano-guinéennes alternée de savanes arborées.
- ***La pénéplaine d'Agou***: Elle correspond à la vaste étendue de sols ferrugineux sur roche métamorphique qui couvre l'ensemble de la préfecture d'Agou excepté la partie montagneuse. Le climat est de type tropical humide avec une pluviométrie annuelle de 900 – 1200 mm. La végétation est essentiellement constituée de la savanes arborées ou guinéenne et des forêts galeries avec des forêts artificielles de tecks par endroit.

2.2 PRELEVEMENTS DE SOLS ET DE RACINES

Les échantillons de sols et de racines ont été prélevés dans les trois sous zones agroécologiques. Dans chaque sous zone agroécologique, les prélèvements ont été faits en considérant quatre types d'agroforêts qui représentent les principaux stades d'évolution des vergers au cours du temps [17]:

- Les jeunes plantations entrant en production (< 10 ans),
- Les cacaoyers adultes en pleine production (10 à 20 ans),
- Les cacaoyers vieillissants dont la production est en déclin (21 à 30 ans)
- Les vieilles plantations (>30 ans)

Sur chaque parcelle, cinq points d'échantillonnage ont été choisi en suivant les diagonales de la parcelle. Au niveau de chaque point d'échantillonnage, des échantillons de sol/racines ont été prélevés sous cinq cacaoyers. Sous chaque arbre, un échantillon de sol (250-300 g) et de racines fines ont été prélevés dans la couronne de 50 cm autour du cacaoyer sur un rayon de 50 à 100 cm. Les échantillons de chaque parcelle ont été mélangés pour former un total de 24 échantillons composites de 500 grammes de sols et 24 échantillons de racines. Ces échantillons ont servi à l'extraction et l'identification des nématodes dans les racines et dans le sol. Ces échantillons ont été conservés au frais dans une glacière et transportés au Laboratoire de Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale de l'Université de Lomé-Togo dans les 24 h après la collecte.

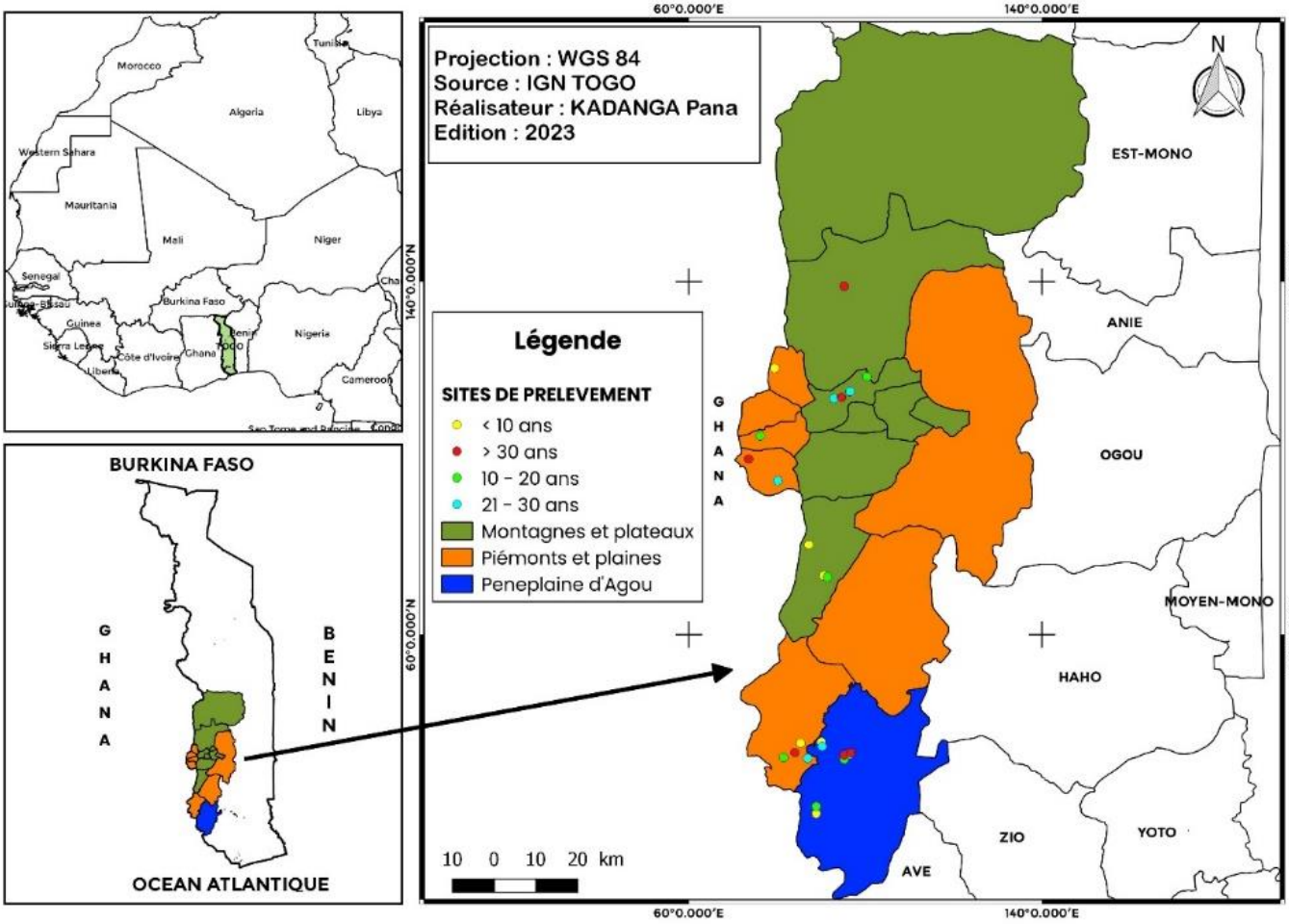


Fig. 1. Zone d'étude et sites de prélèvements des échantillons de racines et de sols

2.3 EXTRACTION DES NEMATODES

L'extraction des nématodes des sols et des racines a été effectué suivant la méthode de Baermann modifiée [18]. Les racines provenant d'un même verger ont été lavées à l'eau de robinet, découpées en petits morceaux (un centimètre en moyenne) puis broyées à l'aide d'un Moulinex. Pour chaque échantillon de racine, un sous-échantillon de 10 g a été utilisé pour l'extraction des nématodes [18]. Par ailleurs, chaque échantillon de sol a été soigneusement mélangé et un sous-échantillon de 100 ml de sol a été utilisé pour l'extraction des nématodes. L'extraction des nématodes a été effectuée sur chaque échantillon de sol et de racines à l'aide d'un dispositif constitué

de passoires tapissées à l'intérieur de papiers hygiéniques (jouant le rôle de filtre) et le tout est placé dans une bassine en plastique suivant la méthode de [19]. Ensuite l'eau a été ajoutée jusqu'à couvrir légèrement l'échantillon de sols ou de racines, favorisant ainsi la migration des nématodes des échantillons de sols et de racines vers l'eau qui constitue le milieu d'extraction. Les échantillons ainsi préparés sont laissés incubés pendant 24 h pour le sol et 48 h pour les racines à 25°C dans une chambre noire. Après 24 heures pour le sol et 48 heures pour les racines, le milieu d'extraction a été récupéré dans une éprouvette graduée. Après 30 minutes de décantation du milieu, le surnageant a été diminué avec précaution pour ramener le niveau du milieu à 100 ml dans l'éprouvette avant de passer à l'observation à la loupe.

2.4 COMPTAGE DES NEMATODES

Le dénombrement des nématodes a été fait à l'aide d'une boîte de Pétri à fond quadrillé de 15 ml de contenance. Les 100 ml du milieu d'extraction préalablement constitués dans l'éprouvette ont été bien agités et 10 ml de suspension ont été prélevés à l'aide d'une pipette graduée dans la boîte de Pétri à fond quadrillé puis placés sous la loupe binoculaire pour l'observation et comptage des nématodes. Trois observations ont été faites pour chaque échantillon.

Après dénombrement, le nombre de nématodes a été rapporté au dm^3 de sol humide pour les échantillons du sol et au gramme de racine pour les échantillons de racine.

La fréquence et l'abondance des genres de nématodes identifiés ont été ensuite calculées à partir des formules suivantes:

F= (e/n) *100 avec **e** le nombre d'échantillons contenant le genre considéré et **n:** nombre total d'échantillons.

A = ΣXi/e avec **Xi** le nombre d'individus du genre considéré par kg de sol ou par gramme de racines sèches et **e** est le nombre d'échantillons dans lesquels le genre considéré est présent.

2.5 FIXATION ET IDENTIFICATION DES NEMATODES

Les nématodes observés ont été fixés dans une solution fixatrice composée l'éthanol 95° (2%), du formaldéhyde à 35% (8%) et de l'eau distillée 90% [18] puis chauffé à une température de 70°c. Cette solution fixatrice reste stable pour une très longue période et les nématodes gardent une apparence proche de leur vivant, car ils ne se dessèchent pas. L'identification a été faite au Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologie Appliquée de l'Université de Kara à l'aide d'un microscope (Motic, Model B1) aux grossissements 4; 10; 40 et 100 sur la base de critères morphologiques en utilisant les clés d'identification [20].

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique a porté sur la densité de nématodes dans le sol et de racines des quatre types d'agroforêts (5 à 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans) et des différentes sous zones agroécologiques. Les densités des nématodes dans les différents types d'agroforêts des sous zones agroécologiques ont été analysées en utilisant le logitiel SPSS version 25.0 à travers une analyse des variances (ANOVA) et les différentes moyennes ont été discriminées et comparées par le test de Student-Newmann-Keuls (SNK) au seuil de 5%. Par ailleurs, avant l'analyse, les densités moyennes des nématodes ont été normalisées en utilisant la transformation log10 (x + 1) (où x est la densité moyenne de nématodes).

3 RESULTATS

3.1 DIVERSITE DES NEMATODES RECENSES DANS LES VERGERS CACAOYERS AU TOGO

Le Tableau 1 présente les résultats de l'identification des nématodes des racines et du sol issu des sites prospectés dans les sous zones agro écologiques (pénéplaine d'Agou, Piémonts et plaines, Plateaux et montagne) du Togo. Au total, cinq (05) genres de nématodes parasites du cacaoyer ont été identifiés sur l'ensemble des sites. Il s'agit des genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema et Radopholus.* L'étude a également révélé la présence des nématodes microbivores (bactérivores et fongivores). Les cinq genres de nématodes sont répartis en trois (03) familles, un (01) ordre et une (01) classe. L'analyse a révélé la présence d'un (01) endoparasite sédentaire (*Meloidogyne*), de deux (02) endoparasites migrateurs (*Pratylenchus et Radopholus*) et de deux (02) ectoparasites (*Helicotylenchus et Scutellonema*) (tableau 1).

Tableau 1. Les genres de nématodes identifiés sur les différents sites prospectés

Genres	Classe	Ordre	Famille	Relations avec la plante
Meloidogyne	Secernentea	Tylenchida	Heteroderidae	Endoparasite sédentaire
Pratylenchus			Pratylenchidae	Endoparasite migrateur
Radopholus				
Helicotylenchus			Hoplolaimidae	Ectoparasites
scutellonema				
Nématodes bactérivores				Saprophytes
Nématodes fongivores				

3.2 DIVERSITE DES NEMATODES SELON LEUR HABITAT

L'inventaire des nématodes sous les cacaoyers a fait ressortir un effectif total de 672 individus dont 171 individus (25,45%) des racines et 501 individus (74,55%) du sol. Les cinq (05) genres identifiés (*Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema* et *Radopholus*) ont été enregistrés à partir des échantillons de racines et du sol. Cependant, les nématodes microbivores (bactérivores et fongivores) ont été relevés uniquement à partir d'échantillons de sol.

Dans les racines, les nématodes prévalent ont été représentés par les genres *Meloidogyne, Pratylenchus et Helicotylenchus* avec des fréquences d'occurrence respectives de 39,77%, 22,22% et 20,47% et représentent 82,46% des nématodes racinaires enregistrés. Par contre, dans les échantillons de sols, les nématodes prévalent ont été le genre *Meloidogyne,* les bactérivores et les fongivores avec des fréquences d'occurrence respectives de 29,94%, 23,15% et 19,56% fréquences d'occurrence représentant 72,65% des nématodes du sol. Par ailleurs, les fréquences d'occurrence des cinq genres de nématodes phytoparasites (*Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema et Radopholus*) ont été plus élevées dans les racines que dans le sol (figure 2).

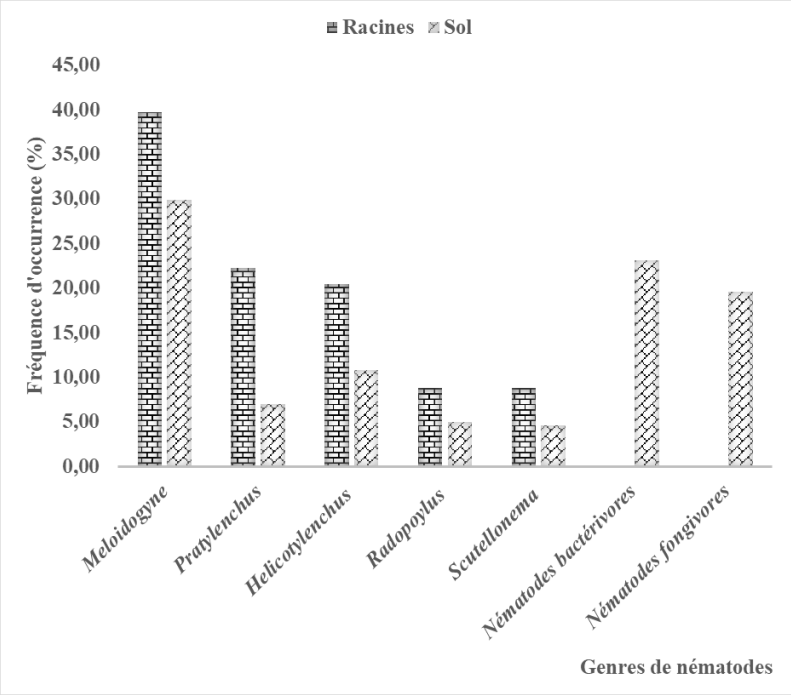


Fig. 2. Diversité des nématodes phytoparasites selon leur habitat

3.3 DIVERSITE DE NEMATODES DANS LES RACINES ET LES SOLS SOUS CACAOYERS AGROFORETS

Dans les échantillons de racines, les plus fortes densités de nématodes ont été enregistrées pour les genres *Meloidogyne, Pratylenchus, et Helicotylenchus*. Toute fois, quel que soit le genre considéré, les plus fortes infestations ont été onservées dans les agroforêts inférieurs à 20 ans. Par ailleurs, les densités des genres *Meloidogyne* et *Helicotylenchus* sont plus élevées dans les agroforêts adultes en production que dans les jeunes agroforêts alors que pour le genre *Pratylenchus,* la plus forte densité est enregistrée dans les jeunes vergers. Enfin, le genre *Scutellonema* n'a pas été retrouvé dans les racines des agroforêts vieillissantes (21 à 30 ans) alors que le genre *Radopholus* n'a pas été retrouvé dans les racines des les vergers supérieurs à 30 ans (figure 3A).

Dans les échantillons de sols quel que soit le type d'agroforêt considéré, les plus fortes densités de nématodes ont été enregistrées pour le genre *Meloidogyne,* les nématodes bactérivores et fongivores. De plus, les densités des genres *Pratylenchus* et *Helicotylenchus* ont été plus élevées dans les agroforêts inférieurs à 20 ans alors que le genre *Scutellonema* n'a pas été retrouvé dans les échantillons de sols des agroforêts vieillissants (figure 3B).

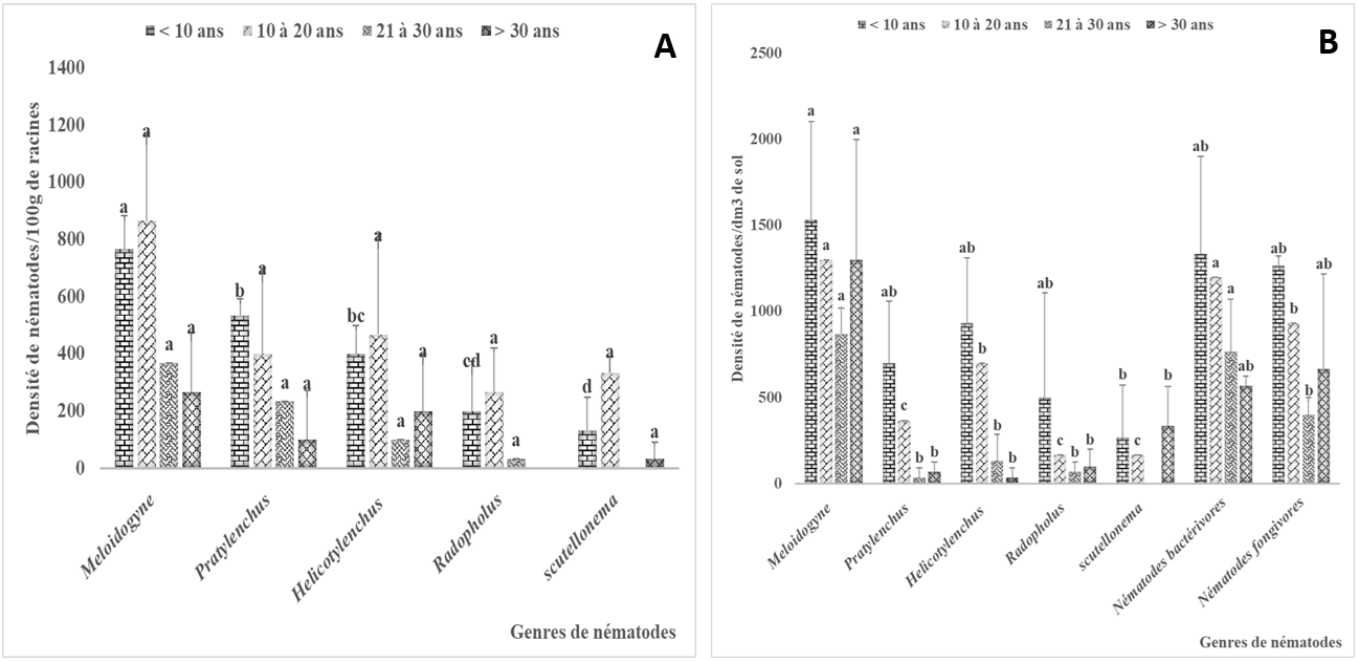


Fig. 3. Diversité des nématodes dans les racines (A) et les sols (B) des jeunes plantations entrant en production (< 10 ans), les cacaoyers adultes en production (10 à 20 ans), les cacaoyers vieillissants (21 à 30 ans) et les vieilles plantations (>30 ans)

3.4 DIVERSITE DE NEMATODES DANS LES RACINES ET DANS LES SOLS SOUS CACAOYERS DES DIFFERENTES SOUS ZONES AGRO ECOLOGIQUES

L'analyse statistique a montré qu'il n'existe aucune différence significative de densités de nématodes racinaires entre les genres pour la pénéplaine d'Agou ($p = 0,274$) et sur les plateaux et montagnes ($p = 0,092$). Toutefois, les densités les plus élevées ont été enregistrées pour les genres *Meloidogyne, Pratylenchus,* et *Helicotylenchus*. Par contre, dans les piémonts et plaines, l'analyse statistique a montré une différence significative ($p = 0,027$) des densités de nématodes entre les différents genres. Les plus fortes valeurs ont été observées pour les genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus*. Dans l'ensemble, les densités des genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus* sont plus élevées dans les piémonts et plaines et sur les plateaux et montagnes que dans la pénéplaine d'Agou (Figure 4A).

Dans les échantillons de sol, l'analyse statistique a mis en évidence des différences significatives ($p < 0,05$) entre les densités moyennes de nématodes dans les différentes sous zones agro écologiques. Les plus fortes densités ont été enregistrées avec le genre *Meloidogyne,* les nématodes bactérivores et fongivores. Par ailleurs, pour le genre *Helicotylenchus* la plus forte densité a été enregistrée dans la pénéplaine d'Agou alors que pour les autres genres (*Meloidogyne, Pratylenchus, Radopholus* et *Scutellonema*) et les nématodes microbivores (bactérivores et fongivores), les densités les plus élevées sont enregistrées dans piémonts et plaines (figure 4B).

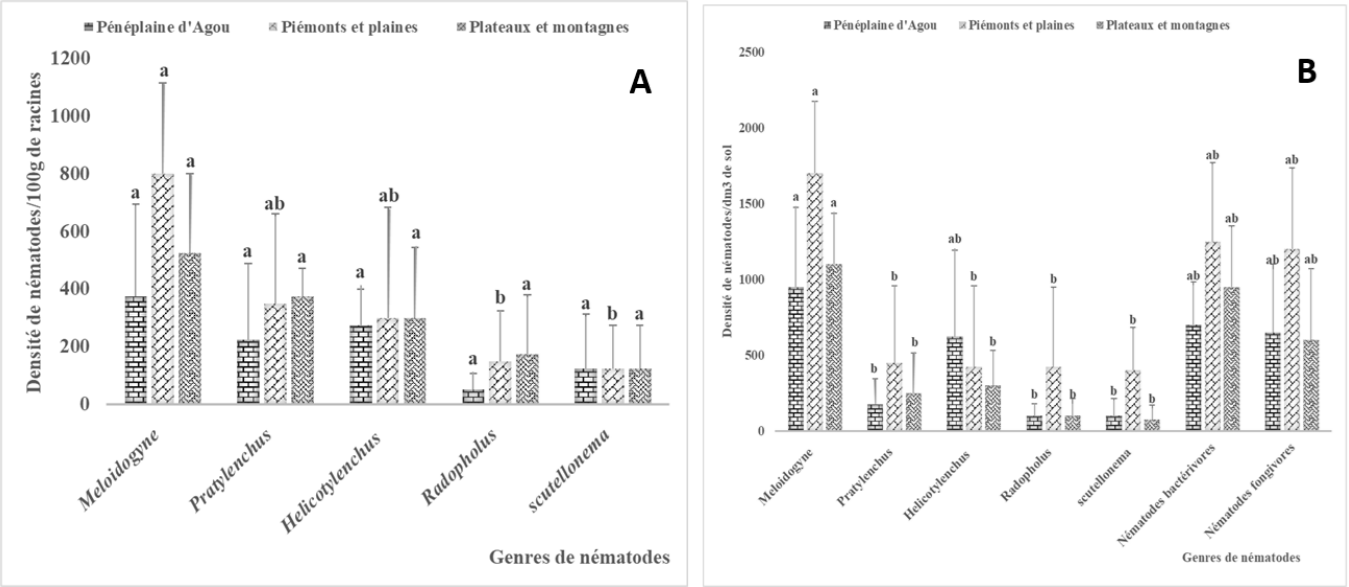


Fig. 4. Diversité de nématodes dans les racines (A) et les sols (B) sous cacaoyers de la pénéplaine d'Agou, des piémonts et plaines et des plateaux et montagnes

3.5 FREQUENCE ET ABONDANCE DES NEMATODES DANS LES AGROFORETS A CACAOYERS

Les nématodes les plus fréquents et les plus abondants dans les récines ont été représentés par les genres *Meloidogyne, Pratylenchus et Helicotylenchus* avec des fréquences d'occurrences moyennes respectives de 55,56%, 43,06% et 41,67% et des abondances moyennes respectives de 16,67%, 13,11% et 11,41% (Tableau 2). Dans les échantillons de sols, les nématodes les plus fréquents et les plus abondants sont le genre *Meloidogyne, les bactérivores et les fongivores* avec des fréquences d'occurrences moyennes respectives de 88,89%, 81,94% et 72,22% et des abondances respectives moyennes de 23,27%, 19,20% et 18,37% (Tableau 3). Les plus fortes fréquences ont été observées dans racines et dans les sols des agroforêts inférieur à 20 ans quel que soit le genre considéré. Les genres *Scutellonema* et *Radopholus* sont absents respectivement dans les récines et les sols des agroforêts vieilliissants (21 à 30 ans) (Tableau 2 et Tableau 3) alors que le genre Radopholus n'a pas été retrouvé dans les racines des vieux vergers (>30 ans) (Tableau 2).

Tableau 2. Liste, fréquence et abondance des genres de nématodes identifiés dans la rhizosphère des différents types d'agroforêts à cacaoyers (< 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans)

Genres	< 10 ans		10 à 20 ans		21 à 30 ans		> 30 ans		Moyenne	
	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon
Meloidogyne spp	72,22	17,69	83,33	17,33	33,33	18,33	33,33	13,33	55,56	16,67
Pratylenchus spp	77,78	11,43	55,56	12,00	27,78	14,00	11,11	15,00	43,06	13,11
Helicotylenchus spp	61,11	10,91	61,11	12,73	16,67	10,00	27,78	12,00	41,67	11,41
Radophylus spp	27,78	12,00	44,44	10,00	5,56	10,00			25,93	10,67
scutellonema spp	22,22	10,00	50,00	11,11			5,56	10,00	25,93	10,37

Tableau 3. Liste, fréquence et abondance des genres de nématodes identifiés les sols des différents types d'agroforêts à cacaoyers (< 10 ans, 10 à 20 ans, 21 à 30 ans et > 30 ans)

Genres	< 10 ans		10 à 20 ans		21 à 30 ans		> 30 ans		Moyenne	
	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon	Fréqu	Abon
Meloidogyne spp	100,00	25,56	94,44	22,94	77,78	18,57	83,33	26,00	88,89	23,27
Pratylenchus spp	83,33	14,00	61,11	10,00	5,56	10,00	11,11	10,00	40,28	11,00
Helicotylenchus spp	88,89	17,50	83,33	14,00	22,22	10,00	5,56	10,00	50,00	12,88
Radophylus spp	50,00	16,67	27,78	10,00	11,11	10,00	16,67	10,00	26,39	11,67
scutellonema spp	33,33	13,33	27,78	10,00			44,44	12,50	26,39	8,96
Nématodes bactérivores	94,44	23,53	88,89	22,50	83,33	15,33	61,11	15,45	81,94	19,20
Nématodes fongivores	88,89	23,75	72,22	21,54	66,67	10,00	61,11	18,18	72,22	18,37

4 DISCUSSION

Cette étude a été menée afin d'étudier la diversité, la fréquence et l'abondance des nématodes phytoparasites dans la rhizosphère des agroforêts à cacaoyers au Togo. Les résultats ont montré que cinq genres de nématodes phytoparasites ont été identifiés. Il s'agit des genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema et Radopholus* retrouvés aussi bien dans les racines que dans le sol alors que les genres les plus fréquents et les plus abondants sont *Meloidogyne, Pratylenchus et Helicotylenchus*. De plus, l'étude a également révélé la présence des nématodes microbivores (bactérivores et fongivores) qui ont été retrouvés uniquement dans les échantillons de sols. Plusieurs travaux antérieurs ont été réalisés sur la distribution géographique des nématodes phytotoparasites associés aux cacaoyers à travers le monde ([21]; [22]; [23]; [24]). Ces auteurs ont rapporté que les genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus* ont été identifiés dans les plantations cacaoyères en côte d'Ivoire, au Ghana et au Nigéria alors que le genre *Scutellonema* a été retrouvé uniquement au Nigéria. [25] ont également rapporté la présence des genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus* dans les plantations de cacaoyers en association avec le bananier douce ou le bananier plantain au Nigéria. [10] ont identifié douze espèces de nématodes dans la rhizosphère des cacaoyers de trois Etats dans le Sud-Ouest du Nigéria. Ces auteurs ont rapporté que les genres les plus abondants et les plus fréquents étaient *Meloigdogyne, Tylenchus, Helicotylenchus, Pratylenchus et Rotylenchus*. Par ailleurs l'étude a révélé la présence du genre *Radopholus* aussi bien dans les racines que dans les sols des différents agroforêts de toutes les sous zones agroécologiques. Ce genre (*Radopholus similis*), communément appelé « *Anguillule mineuse du bananier* » a été décrit comme l'un des plus importants nématodes parasites des racines des bananiers dans la zone intertropicale ([26]; [27]). La présence du genre *Radopholus* dans les vergers prospectés se justifie par la présence des plants de bananiers plantains/douces associés. [25] ont également rapporté la présence des nématodes du genre *Radopholus* dans les plantations de cacaoyers en association avec le bananier douce ou le bananier plantain au Nigéria.

Les nématodes parasites les plus fréquents et les plus abondants associés aux racines des vergers sont les genres *Meloidogyne, Helicotylenchus et Pratylenchus* quel que soit le type d'agroforêt considéré. Ce résultat corrobore ceux de [23], [28] et [25] qui ont travaillé respectivement au Pérou, dans la région d'Oumé en Côte d'Ivoire et au Nigéria sur les nématodes parasites des cacaoyers. Ces auteurs ont rapporté dans leurs différents travaux que les genres *Meloidogyne, Helicotylenchus et Pratylenchus* étaient les plus fréquents dans les plantations cacaoyères.

Les résultats concernant les nématodes du sol ont montré qu'en plus des genres *Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema et Radopholus* retrouvés dans les racines, les échantillons de sols ont révélé la présence des nématodes microbivores (bactérivores et fongivores). En effet, ce sont des nématodes qui se nourrissent des bactéries ou des champignons présents dans le sol et représentent des bio indicateurs du fonctionnement biologique du sol. Même si les indicateurs physico-chimiques sont prépondérants pour une approche agronomique, les microorganismes du sol se montrent pertinents pour caractériser l'état et le fonctionnement du sol [29]. Au sein des microorganismes du sol, les nématodes offrent une perspective particulièrement intéressante [30]. D'un point de vue fonctionnel, les nématodes microbivores (bactérivores et fongivores) renseignent sur le compartiment microbien, la dynamique de la matière organique et le recyclage des nutriments [31]. Plusieurs études ont montré que la prédation des bactéries par les nématodes bactérivores stimule l'activité microbienne du sol améliorant ainsi la fertilité minérale du sol [32]; [33]; [34]). En libérant par excrétion les nutriments immobilisés dans la biomasse microbienne, les nématodes bactérivores vont améliorer la disponibilité des nutriments aux plantes [35]. La prédation exercée par les nématodes bactérivores sur les bactéries décomposeurs stimule la minéralisation nette de l'azote et du phosphore [36]. Des études ont également montré qu'il existe dans le sol des nématodes entomopathogènes qui mènent une vie symbiotique avec des bactéries. En effet, les nématodes entomopathogènes des genres *Heterorhabditis et Steinernema* sont des pathogènes d'insectes des sols et sont commercialisés comme des bio-insecticides pour lutter contre certains ravageurs des cultures. Les nématodes sont associés à des bactéries des genres *Xenorhabdus et Photorhabdus,* formant une symbiose très spécifique [37]; [38]). Le cycle biologique de ces nématodes se décompose en 2 phases: une première phase libre dans les sols où les stades larvaires libres du nématode transportent leurs bactéries symbiotiques dans le tube digestif. La deuxième phase est parasitaire dans l'insecte: après pénétration dans l'insecte, les nématodes libèrent leurs bactéries dans l'hémolymphe de l'insecte. Les bactéries se multiplient et sécrètent des toxines qui inhibent le système immunitaire de l'insecte, et provoquent sa mort en 48h. Les nématodes se nourrissent du cadavre de l'insecte. Lorsque les ressources du cadavre d'insecte sont épuisées, les nématodes ressortent de la larve avec quelques bactéries dans leur tube digestif, et regagnent le sol à la recherche de nouveaux hôtes insectes [38].

5 CONCLUSION

L'inventaire des nématodes associés aux cacaoyers dans les agroforêts a permis de recenser au total cinq (05) genres de nématodes phytoparasites (*Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus, Scutellonema et Radopholus*) et des nématodes microbivores (bactérivores et fongivores). Dans les échantillons de racines, les nématodes prévalents rencontrés étaient les genres Meloidogyne, Pratylenchus, Helicotylenchus alors que dans le sol, Meloidogyne et les nématodes microbivores sont les plus importants. En ce qui concerne les différents agroforêts, les plus fortes densités des nématodes sont enregistrées dans les agroforêts inférieurs à 20 ans alors que pour les sous zones agroécologiques, les densités les plus élevées sont enregistrées dans les piémonts et plaines et sur les plateaux et montagnes.

La diversité des nématodes phytoparasites enregistrés dans les plantations cacaoyères du Togo nécessite de plus amples investigations sur leur potentiel de dommages sur les cacaoyers afin d'établir des stratégies efficients de gestion.

REFERENCES

[1] Bockel L., Ouedraogo A. S., Amon A. K. A. et Gopal P. 2021. Analyse prospective de la filière cacao en Côte d'Ivoire 2020-2030 - vers une politique commune de marché de cacao en Afrique de l'Ouest. *Food and Agriculture Organization (FAO)* 2021. 49p.

[2] CIRAD (Centre de coopération International pour la Recherche Agronomique pour le Développement), 2013. Améliorer les systèmes agroforestiers en zone tropicale humide: les cas de cacaoyers et des caféiers. CIRAD. 2p.

[3] Wessel M., Quist-Wessel F.P.M., 2015. Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments*. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 74&75, 1-7.

[4] Djiwa O., Pereki H. et Guelly K. A. 2021. Perceptions ethnoculturelles des services écosystémiques rendus par les agroforêts à base de cacaoyer au Togo. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2021 25 (3), 208-222 (15p).

[5] DSID 2018. Évaluation des superficies et des rendements de café et de cacao, campagne agricole 2017-2018. Mai 2018. DSID/MAEH/PNIASA/Banque Mondiale. Lomé, Togo, 76 p.

[6] CRA-F. 2004. Point sur la recherche cacaoyère au Togo. Rapport annuel Kpalimé, 22 p.

[7] Koudjega T., 2013. Détermination de formules d'engrais adaptées aux trois sous zones cacaoyères du Togo. *Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie du Développement à l'Université de Lomé – Togo*. 97p.

[8] Dormon, E.N.A., Huis A., Leeuwis C. et Obeng-Ofori, D. 2004. Causes of Low Productivity of Cocoa in Ghana: Farmers' Perspectives and Insights from Research and the Socio-political Establishment. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*. DOI: 10.1016/S1573-5214 (04) 80016-2. 52 (3-4): 237-259.

[9] Afolami, S.O., Okeniyi M.O., Enikoumehin A.O., Popoola A.R., Aiyelaagbe I.O., and Fademi O.A. 2013. Plant-Parasitic Nematodes Associated with Old Cacao Plantations in Oyo and Ondo State of Nigeria. *African Crop Science Conference Proceedings* 11: 407 – 411.

[10] Adewale D. B. et Dada S. O. 2020. Diversity of phyto-parasitic nematodes in the on-farm cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantations of south western Nigeria. *Trop. Agric. (Trinidad)* Vol. 97 No. 2 137-148.

[11] Kergunteuil A. R. Campos-Herrera S. Sánchez-Moreno, P. Vittoz, and Rasmann S. 2016. «The Abundance, Diversity, and Metabolic Footprint of Soil Nematodes is Highest in High Elevation Alpine Grasslands.» *Frontiers in Ecology and Evolution 4: 84.* doi: 10.3389/fevo. 2016.00084.

[12] De Ley, P. 2006. A Quick Tour of Nematode Diversity and the Backbone of Nematode Phylogeny.« In: WormBook, edited by D.H.A. *Fitch. The C. elegans Research Community, WormBook*. doi/10.1895/wormbook.1.41.1, http://www.wormbook.org

[13] Fademi O. A., Orisajo S. B. and Afolami S. O. 2006. Impact of plant parasitic nematodes on cocoa production (in Nigeria) and outlook for future containment of the problem. In Proceedings *15 th International Cocoa Research Conference,* October 9-14, 2006, San José, Costa Rica. pp. 82.

[14] Arevalo-Gardini E., Ttacca B. L., Canto-Saenz M. et Baligar V. 2017. Nématodes parasites dans Guide Technique pour les Transferts Sécurisés de Matériel Génétique de Cacaoyer. *Révision des Directives Techniques FAO/IPGRI* No. 20 (Troisième Édition, Octobre 2017). p85.

[15] Luc, M., et G. Guiran. 1960. Les Nematodes Associes aux Plantes de L'Ouest Africain. Liste Preliminaire.« *Agron. Trop. Nogent*. 15: 434-499.

[16] ITRA, 2009. Stratification du Togo en zones homogènes pour la recherche agronomique In: *Rapport Annuel* 2009. ITRA. Lomé, Togo, pp. 25-28.

[17] Jaroget P., 2011. Analyse et évaluation des systèmes agroforestiers complexes sur long terme: Application aux systèmes de culture à base de cacaoyers au centre Cameroun. *Thèse, Université Montpelier SUPAGRO,* 288p.

[18] Coyne, D. L., Nicol, J. M. et Claudius-Cole B. 2010. Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Secrétariat SP-IPM, *Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA),* Cotonou, Benin. 93p.

[19] Hooper, D. J., Hallmann, J. and Subbotin, S. (2005). Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes: 53-86. In: Luc, M., Sikora, R. A., Bridge, J., (eds), *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford, UK.

[20] Siddiqi M R, 2000. Tylenchida parasites of plants and insects. *Wallingford, UK, CABI Publishing,* 833 pp.

[21] Wood GAR, Lass RA. 2001. *Cocoa. 4 ed. Blackwell Science,* UK. 620 pp.

[22] Campos VP, Villain L. 2005. Nematode parasites of coffee and cocoa. In Luc M, Sikora RA, Bridge J, editors. Plant parasitic nematodes in *subtropical and tropical agriculture. 2nd edition. CABI Bioscience,* UK. pp. 529-579.

[23] Arévalo-Gardini, E, Zúñiga CL, Baligar VC, Canto SM. 2007. Dynamics of nematode populations in cacao grown under traditional system of management in Peruvian Amazon. *Workshop on Pan Amazonian Soil Biodiversity,* Rio Branco Acre, Brazil, September 26-29, 2007.

[24] Arévalo-Gardini E. 2008. Biodiversity in soils of cocoa systems in San Martin Region. Proceedings of the XI National *Congress and IV International Congress of Soil Science, Tarapoto, San Martin, Peru,* November 16-21, 2008.

[25] Agbongiarhuoyi A.E., Ayegboyin K.O., Ogunlade M.O. et Orisajo S.B. 2016. Farmers' use of Banana instead of Plantain as Shade Crop in Cocoa Establishment: A Case of Cross River State, Nigeria. *World Rural Observations*. http://www.sciencepub.net/rural. 9p.

[26] Gnonhouri P. G. et Adiko A. 2008. Distribution géographique de *radopholus similis* et *pratylenchus coffeae*: risque potentiel sur la pérennisation des plantations de bananiers dessert en côte d'ivoire. *Agronomie Africaine 20 (2):* 213 - 220 (2008).

[27] Rodde A. 2010. Effets de *Radopholus similis,* nématodes parasites des racines, sur le fonctionnement racinaire du bananier. Rapport de stage obligatoire – stage long 2 ème séquence. Stage effectué au CIRAD, Guadeloupe, Station de Neufchâteau. Janvier – juillet 2010. 51p.

[28] Nandjui J., Nonhouri P. G. G., Ondoh J. E. T. et Ano Y. T. 2007. Réponse des nématodes à la perturbation des forêts dans la région d'Oumé, Côte d'Ivoire. *Sciences et Nature Vol. 4 N°2*: pp189 -196.

[29] Bispo, P.C., Cardoso-Leite, R., Lecci, L.S. 2012: Description of the larva of Kempnyia colossica (Navás) (Plecoptera: Perlidae) with biological notes. *Aquatic insects,* 34 (3-4): 217–221. DOI: 10.1080/01650424.2013.80055.

[30] Villenave C., Oumar Ba A., Rabary, B., 2009. Analyse du fonctionnement biologique du sol par l'étude de la nématofaune: semis direct versus labour sur les hautes terres près d'Antsirabé (Madagascar). Etude et Gestion des Sols, Association française pour l'«étude des sols, 16 (3/4), pp.369-378.

[31] Coll P., Le Cadre E., Mérot A. et Villenave C. 2013. La caractérisation du fonctionnement biologique du sol en viticulture biologique peut être réalisée par l'analyse de la nématofaune. *Innovations Agronomiques* 32 (2013), pp391-400.

[32] Djigal, D., Sy, M., Brauman, A., Diop, T.A., Mountport, D., Chotte, J.L., Villenave, C., 2004. Interactions between *Zeldia Punctata* (Cephalobidae) and bacteria in the presence or absence of maize plants. *Plant And Soil* 262, 33-44.

[33] Irshad, U., Villenave, C., Brauman, A., Plassard, C., 2011. Grazing by nematodes on rhizosphere bacteria enhances nitrate and phosphorus availability to Pinus pinaster seedlings. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 2121-2126.

[34] Mahafaka R. 2018. Rôle des interactions bactéries-nématodes bactérivores sur la disponibilité du N et P au sein de la rhizosphère du riz sur sol ferrallitique à Madagascar: mécanismes et facteurs de contrôle. *Science des sols*. Montpellier SupAgro, 2018. Français.

[35] Ferris, H., Venette, R.C., van der Meulen, H.R., Lau, S.S., 1998. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. *Plant and Soil* 203, 159-171.

[36] Xiao, H., Griffiths, B., Chen, X., Liu, M., Jiao, J., Hu, F., Li, H., 2010. Influence of bacterial-feeding nematodes on nitrification and the ammonia-oxidizing bacteria (AOB) community composition. *Applied Soil Ecology* 45, 131-137.

[37] Vanya E. 2008. Les problèmes de couple dans les symbioses némato-bactériennes parasites d'insecte. *Mémoire de Doctorat en écologie, environnement*. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc. 125p.

[38] Ogier J-C., Pages S., Thaler O., Frayssinet M., Jumas-Bilak E. 2013. Caractérisation moléculaire du microbiome bactérien associé aux nématodes entomopathogènes. *Colloque de Génomique Environnementale (GE),* Nov 2013, Rennes, France.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1142-1157
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

ÉTUDES DES PRINCIPAUX PARAMETRES GEOCHIMIQUES DES GISEMENTS BAUXITIQUES DE SINTHIOUROU LINGUERE (HOUDA): CONCESSION SMB (SOCIETE MINIERE DE BOKE) PREFECTURE DE TELIMELE - REGION ADMINISTRATIVE DE KINDIA - GUINEE

[STUDY OF THE MAIN GEOCHEMICAL PARAMETERS OF THE SINTHIOUROU LINGUERE (HOUDA) BAUXITE DEPOSITS: SMB CONCESSION (SOCIÉTÉ MINIERE DE BOKE) TELIMELE PREFECTURE - KINDIA ADMINISTRATIVE REGION - GUINEA]

Soryba Bangoura[1], Mamadou Oury Diallo[1], Abdoulaye Diallo[2], and Youssouf Camara[2]

[1]Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké-Département des Services Géologiques, BP: 84, Baralandé, Tamakènè, Préfecture de Boké, Guinea

[2]Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké-Département des Services Miniers, BP: 84, Baralandé, Tamakènè, Préfecture de Boké, Guinea

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: North-western Guinea is home to significant mineral resources (bauxite, par excellence), diamonds and gold, as well as a few indications of useful minerals. Significant deposits of useful minerals have now been identified, some of which are being exploited (e.g. the bauxite deposits of Boké, Fria, Boffa and Télimélé). However, a good number are still foreseeable, given the favorable geological conditions. So, with the prospect of obtaining appreciable and acceptable scientific results, the aim of this work is to study the bauxitic facies and the main geochemical parameters (Al2O3, Fe2O3, TiO2, SiO2 and power) associated with them, among which titanium appears to be the most stable parameter, with a content varying from 1.71 to 4.14% throughout the deposit. Geological work in the study area has revealed the presence of gelomorphic and gravelly bauxites, and has also brought us into contact with certain source rocks (dolerites and cuirasses). Samples processed and analyzed showed alumina content ranging from 37 to over 50%.

KEYWORDS: Resources, deposit, bauxite, parameters and alumina.

RESUME: Le nord-ouest guinéen recèle d'importantes ressources minérales (la bauxite, par excellence), le diamant et l'or; aussi s'ajoutent quelques indices des minéraux utiles Les importants gisements des minéraux utiles sont de nos jours mis en évidence dont certains d'entre eux sont en exploitation (cas des gisements bauxitiques de Boké, de Fria, de Boffa et de Télimélé). Cependant, bons nombres sont encore prévisibles en tenant compte des conditions géologiques favorables. Ainsi donc, avec des perspectives d'avoir des résultats scientifiques appréciables et acceptables, l'on s'est fixé pour objectif de ces présents travaux, aux études des faciès bauxitiques et des principaux paramètres géochimiques (Al2O3, Fe2O3, TiO2, SiO2 et puissance) y afférant, parmi eux le titane apparait comme le paramètre le plus stable avec une teneur variant de 1,71 à 4,14% dans tout le gisement. Dans la zone d'études des travaux géologiques ont révélé la présence des bauxites gélomorphes et graveleuses d'une part et d'autre part nous ont permis d'être en contact avec certaines roches mères (les dolérites et les cuirasses). Les échantillons traités et analysés ont prouvé une teneur en alumine qui varie de 37 à plus de 50%.

MOTS-CLEFS: Ressources, gisement, bauxite, paramètres et alumine.

Corresponding Author: Soryba Bangoura

1 INTRODUCTION

D'une manière générale, les bauxites en Guinée ont été découvertes par **A. LACROIX** dans les îles de l'archipel de Loos au début du XX siècle. Elles ont été prospectées en 1 940, et en 1950 elles ont été exploitées sur le gisement de Kassa [1] - [2].

D'après [1], les bauxites représentent un des principaux minerais d'origine supergène, c'est-à-dire formés dans des conditions de surface. La concentration de l'alumine résulte de la transformation des silicates contenus initialement dans des roches éruptives ou dans les roches sédimentaires, en hydroxydes, gibbsite, boéhmite, diaspore, oxyde, et corindon [4]. Après la seconde guerre mondiale, suite à l'accroissement des besoins de l'industrie mondiale en aluminium, les travaux de recherche et de prospection sur les bauxites ont été relancés dans les différents pays du monde, y compris la Guinée [3] - [4].

Il est à signaler que des faits marquants ont retenu l'attention des chercheurs en Guinée dont:

- Bauxite du Midi de 1948-1962, recherche des bauxites sur le plateau de Fouta-Djalon, l'évaluation des gisements identifiés dans le bassin de la rivière Tinguilinta dans la région de l'interfluve Kogon-Tominé. Durant cette période, il a été découvert et prospecté un gisement unique de Sangarédi dont la CBG exploite les bauxites depuis 1973. De nos jours, ces mêmes plateaux sont exploités par la SMB à Houda (prefecture de Télimélé) [5] - [6] - [7]
- PECHINEY, 1943-1950, SAREPA, 1951-1958, SOMIGA, 1973 recherche des bauxites dans le bassin de Fatala, dans la région de Kindia et sur les feuilles Tougué et Dabola. La prospection des gisements du groupe de Fria (Feuille Télémélé), Pontiolo, Sibiko-Kima et Labiko (feuille Tougué). Les gisements du groupe de Fria sont en exploitation depuis 1963 [1] - [8]

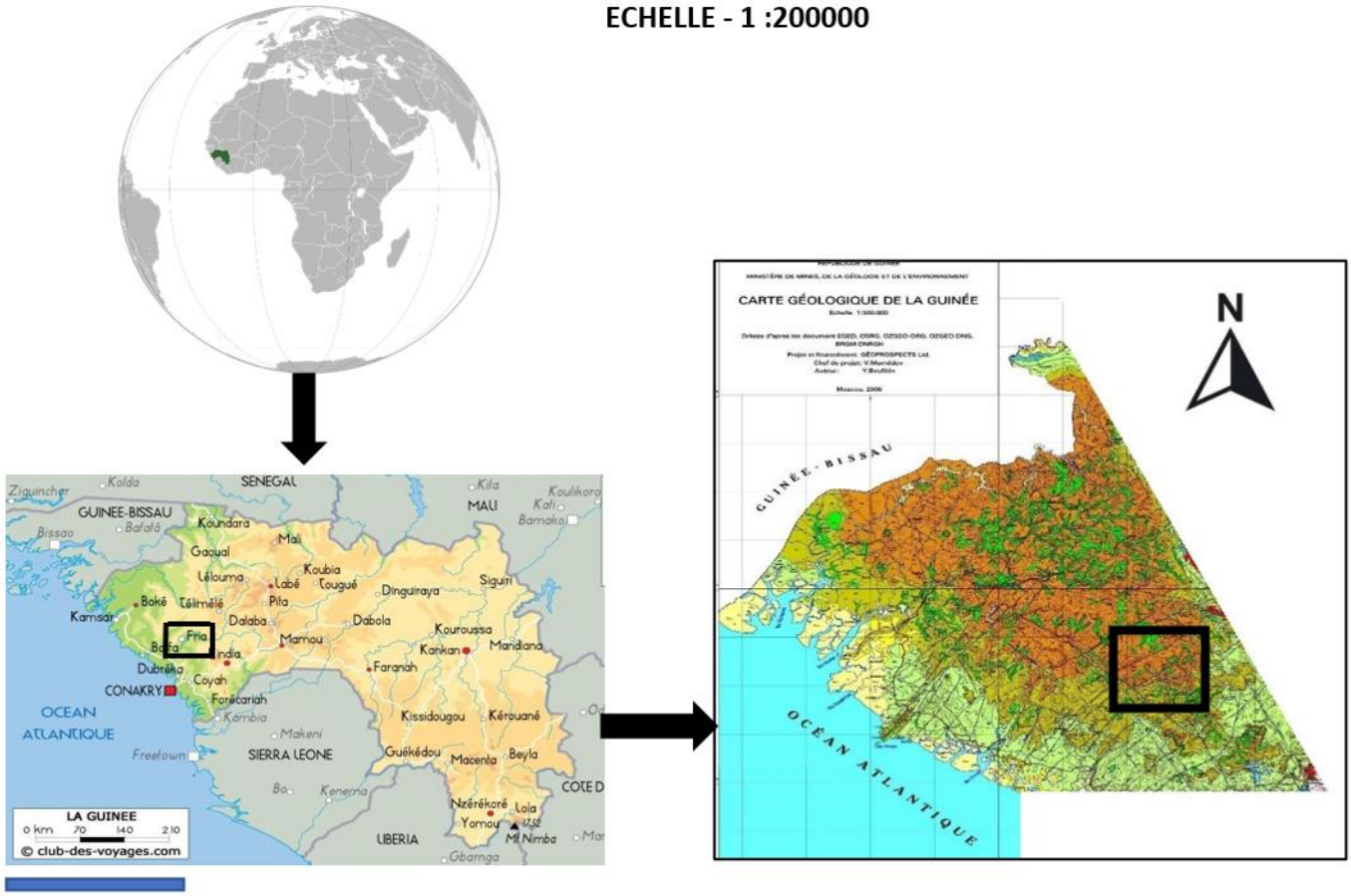
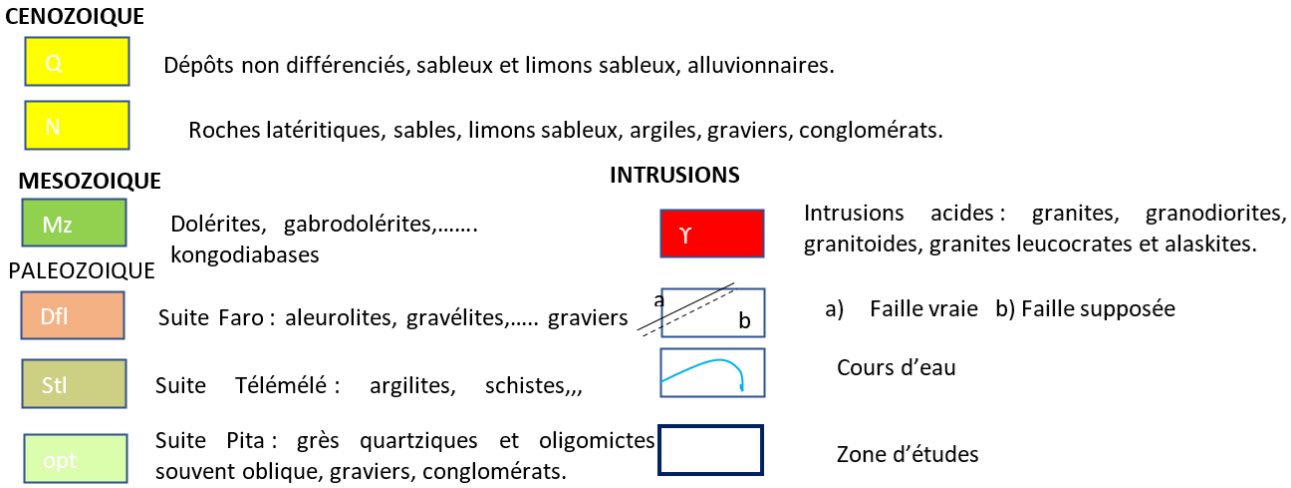


Fig. 1. Localisation de la Zone d'études; Mamédov et al., (1996); B. Soryba et al., (2022)

Légende :



2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITUATION GEOGRAPHICO GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

2.1.1 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

Les plateaux bauxitiques de Sinthiourou Linguèrè faisant l'objet de notre étude est parmi les gisements bauxitiques de Houda (Préfecture de Télimélé), situé environ à cinq (5) km de la cité des travailleurs de la SMB dans sa partie Nord constituant ainsi les abords Sud-Ouest du Fouta-Djalon Mandingo (fig.1) [6]. Elle est comprise entre les coordonnées géographiques 11°00-12°00 Nord et 13°00-14°00 Ouest. Notre région d'étude est limitée au Nord-Ouest et à l'Ouest par les plateaux bauxitiques de Sangarédi (Préfecture de Boké), au Nord-Est par Santou (Préfecture de Télimémlé) et au Sud-Ouest par les blocs bauxitiques de Kolia Lambamyi (Préfecture de Boffa) [10]. Le Fouta-Djalon est représenté par ses contre forts occidentaux possédant des altitudes variant de 200 à 300 m, parfois jusqu'à 1000m donnant naissance aux pentes aplaties et fortes [8] - [11].

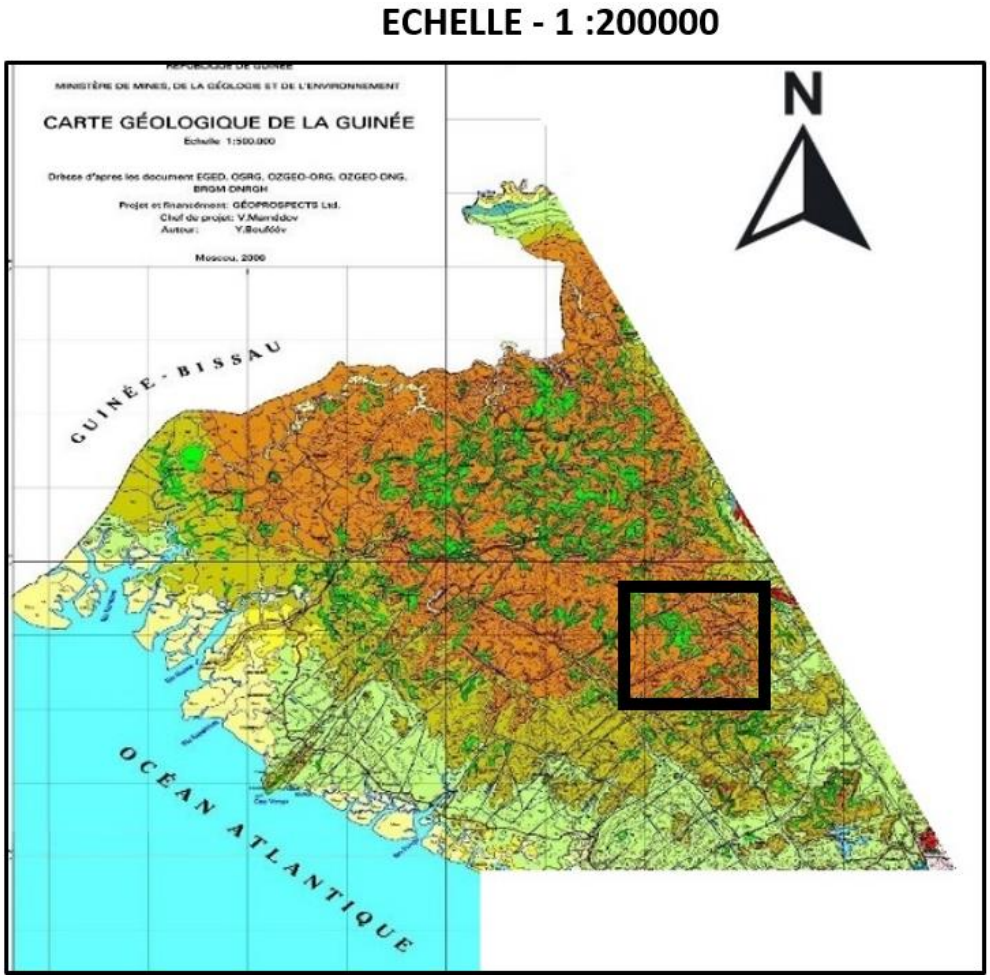


Fig. 2. Zone d'étude; B. Soryba et al., (2022)

2.1.2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Les études géologiques de notre région d'étude débutèrent depuis la deuxième moitié du XIX^{e} siècle par une description schématique du littoral guinéen par Thermick en 1803 et la monographie que Lambert consacre à ces réalités au Fouta-Djalon en 1865 [11].

En 1957, L. Renauld, L. Déclaire, éditèrent la carte géologique de la feuille Kindia Est y compris la partie occidentale de la Feuille Télimélé. Après l'indépendance de notre pays, les recherches géologiques furent planifiées [12] - [13]. Ainsi donc un programme de levés géologiques à l'échelle 1/200000 été adopté depuis 1967 pour tout le territoire [13]. C'est dans cette optique d'idée que notre région d'étude fut couverte par le levé géologique durant la période allant de 1968 à 1970 par la mission Télimélé de l'O.R.G. sous la direction de SELIIVERSTOV [12] - [14].

2.1.2.1 GÉOLOGIE DES GISEMENTS BAUXITIQUES DE HOUDA

La bauxite est dérivée d'une séquence de couches sédimentaires de la couverture et de filon-couches de dolérite soumis au climat tropical depuis des millions d'années [15]. On croit généralement que la bauxite de la zone d'étude se présente comme les couches plates couronnant les plateaux qui s'étendent à travers la région de Télimélé, habituellement à des altitudes au-dessus de 200m [16]. Les effets combinés du climat tropical, de la bonne hydrographie que procure le relief topographique, de la structure et du substrat rocheux favorables ont conduit à une concentration en alumine et oxydes de fer par lixiviation de la plupart des autres oxydes [16] - [17].

Du point de vue stratigraphique, le rapport des travaux d'exploration sur le territoire, et les résultats du levé géologique de la feuille Gaoual (1974-1976) ont encouragé la société Bhp Billiton en juillet 2005 à faire la prospection des plateaux situés

entre les gisements bauxitiques de Sangarédi (CBG) et ceux de RUSAL à Fria (fig.2). Ces travaux ont donné un résultat satisfaisant non seulement à la Société Bhp Billiton mais également au Gouvernement guinéen d'alors [13] - [17] - [18].

L'on retiendra que les bauxites diffèrent par la qualité du minerai c'est -à- dire par leur valeur économique. Ceci confère à la classification génétique des bauxites un caractère géologo-économique. Cependant, toutes les roches contiennent des minéraux contenant de l'aluminium [18]. Les bauxites de notre région se sont formées à partir des roches magmatiques (dolérite), sédimentaires (cuirasses), et tant d'autres. Ainsi donc, durant ce processus de formation, la roche doit être perméable pour permettre la circulation de l'eau. La structure des minéraux alumino silicatés est détruite et les éléments comme Si, Na, K, Ca... sont lessivés, laissant un résidu riche en alumine. Un climat tropical humide est essentiel, une température supérieure à 20^0C favorise la solubilité de la SiO_2. Ainsi, durant ce processus, nous pouvons distinguer une bauxitisation directe et celle indirecte [19].

Dans le cadre de ce travail, notre région a connu une bauxitisation indirecte, car c'est la kaolinite qui s'est formée au niveau du front d'altération; lorsque la kaolinite s'altère à son tour par la perte de la silice (désacidification) pour engendrer de la gibbsite; la bauxite ainsi formée est dite latéritique [18] - [19].

2.1.2.2 ETUDES DES PARAMÈTRES GÉOCHIMIQUES DES GISEMENTS BAUXITIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDES

Selon [13] - [19], pour mieux apprécier nos observations, il s'avère nécessaire de dresser les coupes lithologo-géochimiques afin de connaître le comportement de chacun des paramètres et le degré de variation des différents types de faciès rencontrés.

Pour ressortir la liaison entre la composition lithologique et le caractère géochimique du gisement, nous avons comparé les profils lithologiques et les courbes géochimiques des paramètres suivants: alumine, silice, fer, titane et puissance [19]. Dans le but de se faire une idée sur les liens pratiques entre la lithologie et la diffusion des paramètres géochimiques dans le sens horizontal (profils géochimiques longitudinaux) d'une part et sur leur migration vers la profondeur dans le sens vertical (profils transversaux) d'autre part; il est nécessaire de dresser ces profils géochimiques en fonction des profils géologiques et des sondages. Il ressort de cette étude comparative les tendances entre la lithologie et la géochimie des paramètres étudiés.

L'étude du comportement des principaux paramètres dans les différentes zones de la croûte d'altération latéritique de notre gisement a été réalisée grâce aux résultats des quatre-vingt-deux (82) analyses chimiques des échantillons qui ont été obtenus à partir des sondages réalisés à la maille de 300mx300m par Géoprospect [12] - [20].

Tableau 1. Analyse des composites de forages individuels utilisés pour générer un échantillon de matériau « TENEUR HOUDA, SANTOU ET BOFFA » (Bhp Billiton 2006-2010)

Numéro de sondage	Teneur Houda	Al_2O_3%	SiO_2%	Fe_2O_3%	TiO_2%	P,m
1	H01256148	47,0	5,35	20,0	2,09	19
2	H01256196	49,3	2,33	18,4	2 ,16	13
3	H01268136	53,4	3,09	12,9	2,38	10
4	H01268160	49,1	3,32	18,1	2,18	14
5	H01280172	46,3	1,38	23,7	2,10	16
6	H01280188	47,2	1,48	22,3	2,12	19
7	H01292180	46,4	2,26	23,2	2,23	14
8	H01304052	47,1	1,21	22,6	2,62	12
9	H01328052	48,7	3,31	18,0	2,47	12
10	H01340064	51,2	1,21	16,5	2,43	15
11	H01352411	45,6	2,06	24,4	2,22	11
12	H01376400	43,8	1,94	26,6	2,27	16
13	H01388400	44,2	2,32	26,7	1,93	14
14	H01400400	44,6	2,53	25,1	1,97	17
15	H02328172	44,0	2,90	26,4	1,93	13
16	H02328184	46,6	1,75	23,2	1,98	0,9
17	H02340136	46,7	1,51	22,9	2,11	14

18	H02340160	46,2	2,87	22,9	1,87	13
19	H02352136	47,8	2,93	21,3	2,04	16
20	H01244136	44,1	12,40	17,7	1,84	16
21	H01244160	41,9	2,46	30,8	1,87	18
22	H01256172	45,3	3,22	23,9	2,28	15
23	H01256220	44,5	3,35	25,1	1,88	15
24	H01268184	45,4	2,03	24,6	2,24	10
25	H01268208	47,0	1,63	22,2	2,13	17
26	H01268232	43,5	2,43	26,8	1,98	18
27	H01280076	43,6	1,56	26,9	2,73	14
28	H01280124	37,3	1,30	37,1	2,52	14
29	H01280148	45,8	11,60	17,4	1,57	16
30	H01280220	47,4	2,33	21,9	2,17	11
31	H01292064	43,9	1,84	26,5	2,45	22
32	H01292112	43,1	2,03	27,6	2,41	13
33	H01292136	39,5	0,95	34,3	2,38	11
34	H01292208	41,4	2,11	31,2	2,10	12
35	H01304076	45,2	1,69	25,0	2,72	13
36	H01316400	40,1	1,80	32,6	1,73	20
37	H01328076	45,3	1,63	24,9	2,55	14
38	H01328400	43,0	3,23	28,1	1,93	14
39	H01328412	41,7	2,12	30,5	1,86	19
40	H01328424	42,8	1,94	29,0	1,71	20
41	H01340400	40,7	1,96	31,9	2,11	12
42	H01352052	44,0	1,57	26,2	2,18	28
43	H01352076	40,0	0,95	33,5	2,66	0,8
44	H01364412	43,1	1,92	27,2	2,77	12
45	H01376412	42,0	1,26	29,6	2,47	21
46	H01400412	46,9	2,47	22,6	2,02	19
47	H02304184	42,0	3,88	28,1	1,99	15
48	H02316160	43,4	2,13	27,1	1,88	20
49	H02328160	39,8	2,32	32,1	1,86	27
50	H02352126	46,4	4,24	21,3	1,91	21
51	H02352160	45,1	2,59	24,9	1,92	19
52	H02358136	46,4	2,27	23,4	1,87	15
53	38117135	43,8	2,80	23,7	4,14	27
54	38117147	42,7	1,61	28,5	2,25	13
55	38122118	46,0	2,17	22,5	3,00	12
56	38122130	48,3	1,59	20,3	2,29	10
57	38123141	46,5	2,54	22,2	2,59	13
58	38128112	50,1	1,99	17,4	2,70	11
59	38129123	42,9	3,73	26,0	2,44	16
60	38129135	46,6	1,99	23,0	2,18	14
61	38134130	41,5	0,92	30,1	2,81	24
62	38135141	52,6	3,32	12,4	2,55	11
63	38140112	48,1	2,35	19,3	2,82	13
64	38140124	44,8	1,83	25,1	2,62	16
65	38141135	49,1	1,35	19,0	2,63	10
66	38141147	51,8	1,58	15,5	2,50	0,9

67	38159105	41,9	1,35	29,7	2,88	0,9
68	38150117	48,3	2,04	20,8	2,17	10
69	38165123	46,1	0,96	25,0	1,96	0,9
70	38387165	42,5	2,96	28,3	2,19	13
71	38381171	50,7	3,62	14,7	3,00	17
72	38381183	47,3	2,17	21,7	2,42	0,9
73	38375165	45,3	2,27	24,6	2,38	17
74	38375177	50,5	1,94	17,3	2,39	10
75	38387177	43,0	2,41	27,5	2,44	11
76	38393159	44,6	3,06	24,8	2,21	13
77	38399141	46,5	3,02	21,4	2,45	18
78	38399153	47,6	2,22	20,6	2,55	10
79	38405147	53,0	3,56	12,0	2,53	11
80	38405159	49,3	2,42	18,8	2,39	14
81	38411153	46,2	2,45	22,9	2,38	13
82	38417159	46,1	3,54	22,2	1,98	10

3 RESULTATS

3.1 FACIÈS BAUXITIQUES RENCONTRÉS

D'après les sondages réalisés sur ces différents plateaux par la Société GEOPROSPECT (**Tableau 1**) et les observations faites sur le terrain, on rencontre les faciès bauxitiques ci-dessous:

3.1.1 LES BAUXITES GRAVELEUSES

Les bauxites graveleuses sont des roches dures, massives avec une texture tachetée parfois d'un rubanement touffu et une structure graveleuse. Elles sont constituées par des graviers brun- rouges aplatis, bien polis, à section ovale cimentés par la gibbsite et la goethite avec des dimensions allant du millimètre au centimètre. Dans l'ensemble, ces bauxites se caractérisent par un granoclassement du matériel. Ce sont des bauxites provenant des formations sédimentaires avec conservation de la structure primaire (Fig.3).

3.1.2 LES BAUXITES GÉLOMORPHES

Les bauxites gélomorphes ou gels correspondent aux bauxites "massives: cassante, blanchâtre, brun-jaunâtre, rose ou brun rouge, compacte et homogène ayant un aspect de craie ou de gel consolidé. Elle représente des faciès de transition avec la bauxite squelettique, ce type est répandu dans les gisements de Kounsi et de Hafia, elle apparaît parfois à la surface de ces plateaux (Fig.4).



Fig. 3. Bauxite graveleuse



Fig. 4. Bauxite Gélomorphe

En se basant sur les résultats des travaux de sondage et les analyses chimiques effectuées par la Société Bhp Billiton, les paramètres géochimiques à étudier se présentent comme suit:

3.2 Profils Géochimiques Des Paramètres

D'après les résultats d'analyse des dix (10) premiers sondages (Tableau N°1), les coupes sont élaborées suivant les profils topographiques tandis que les courbes de variation sont en fonction des valeurs moyennes des couches bauxitiques.

Sur l'axe des ordonnées on a pris 1cm = 1% d'Al_2O_3, 1cm =2% de Fe_2O_3, 1cm = 0,1% de TiO_2 et 1cm = 0,5% de SiO_2, sur celui des abscisses, les différents sondages sont représentés à l'échelle 1: 100. Les différents faciès sont ainsi représentés par les signes conventionnels étudiés.

Ainsi pour comprendre et évaluer en détail les processus géochimiques des sondages dans les gisements bauxitiques de la zone d'étude, nous retenons comme principaux paramètres (des teneurs moyennes des sondages de la couche bauxitique en Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, SiO_2 et de la puissance).

Nous avons établi respectivement les profils géochimiques des paramètres Alumine, silice, oxyde de titane et oxyde de fer sur la **Fig.5,** la **Fig.6,** la F**ig**.7, et **Fig**.**8**.

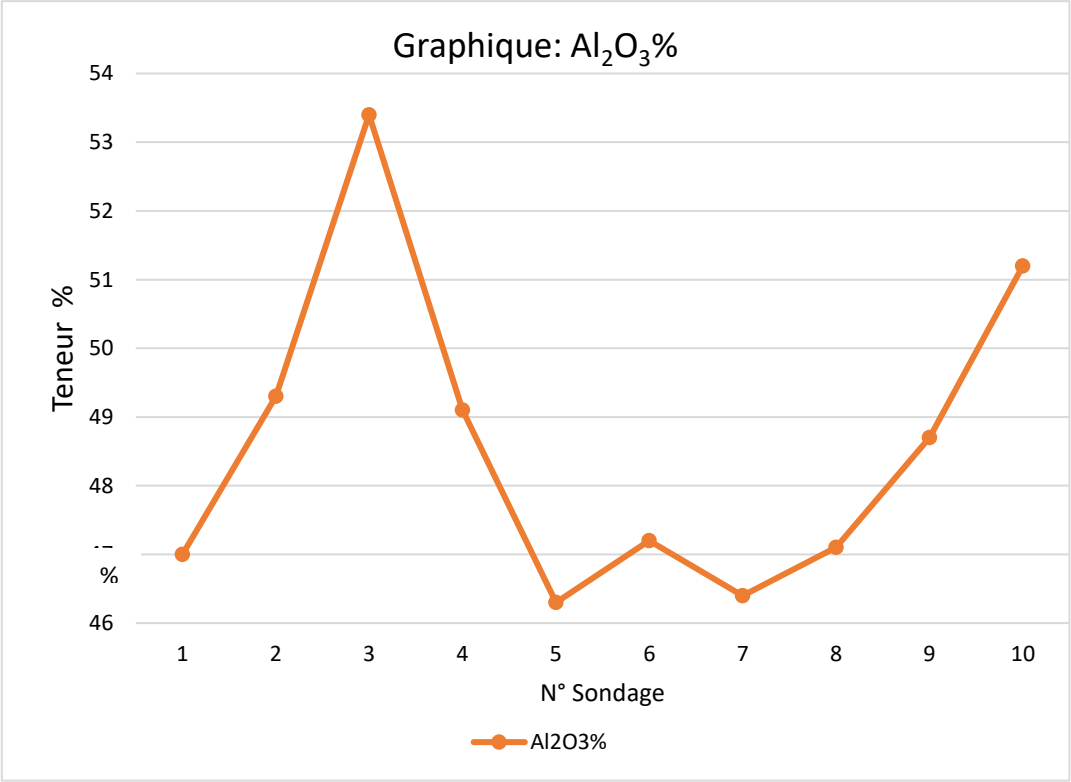


Fig. 5. Profil géochimique de Al_2O_3

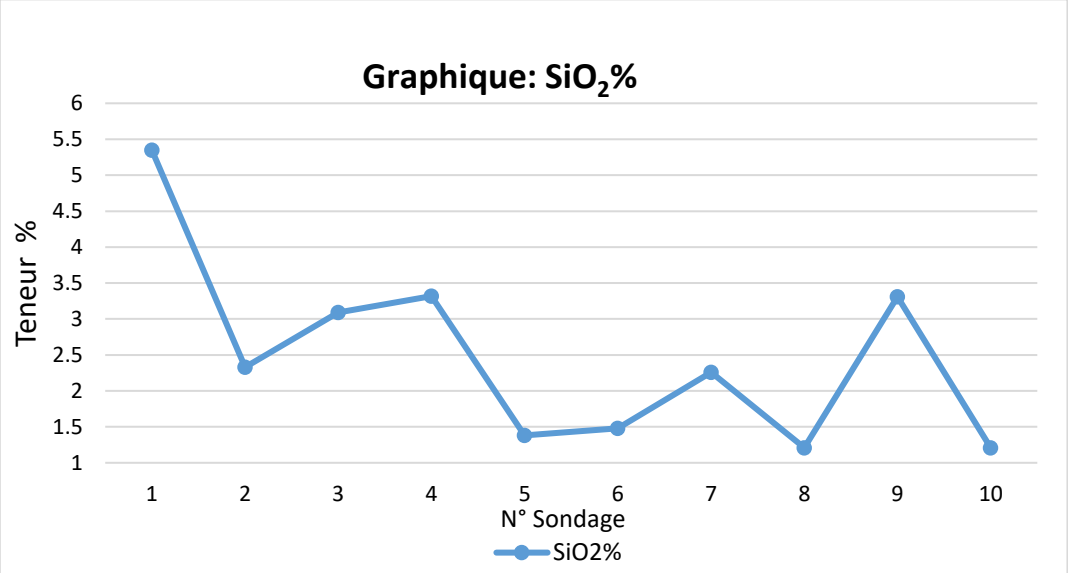


Fig. 6. Profil géochimique de Al_2O_3

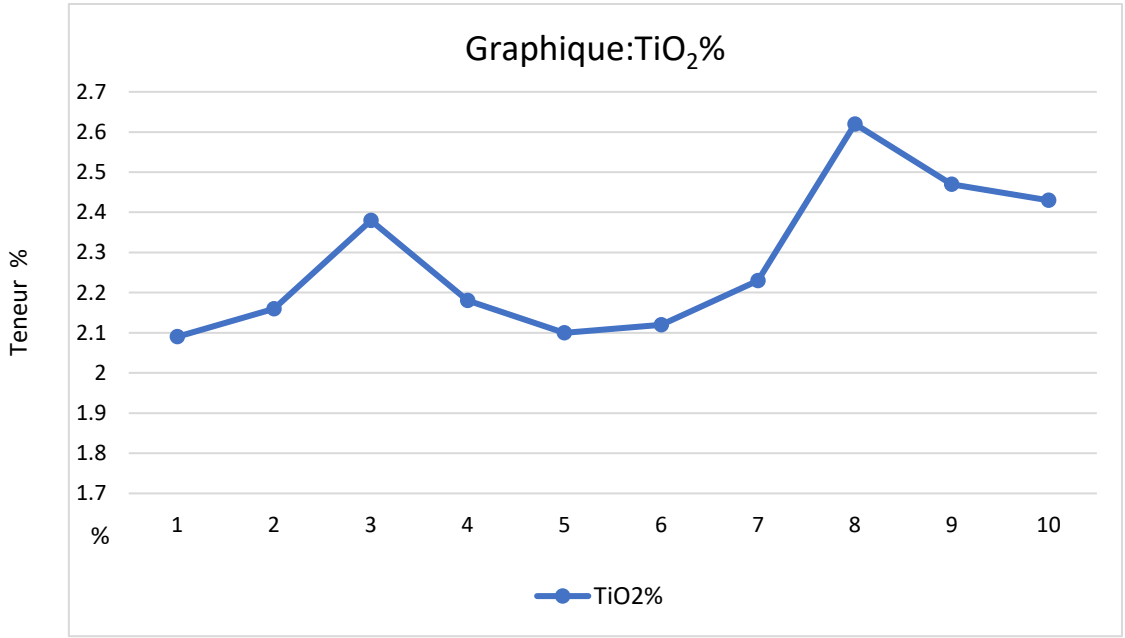


Fig. 7. Profil géochimique de TiO_2

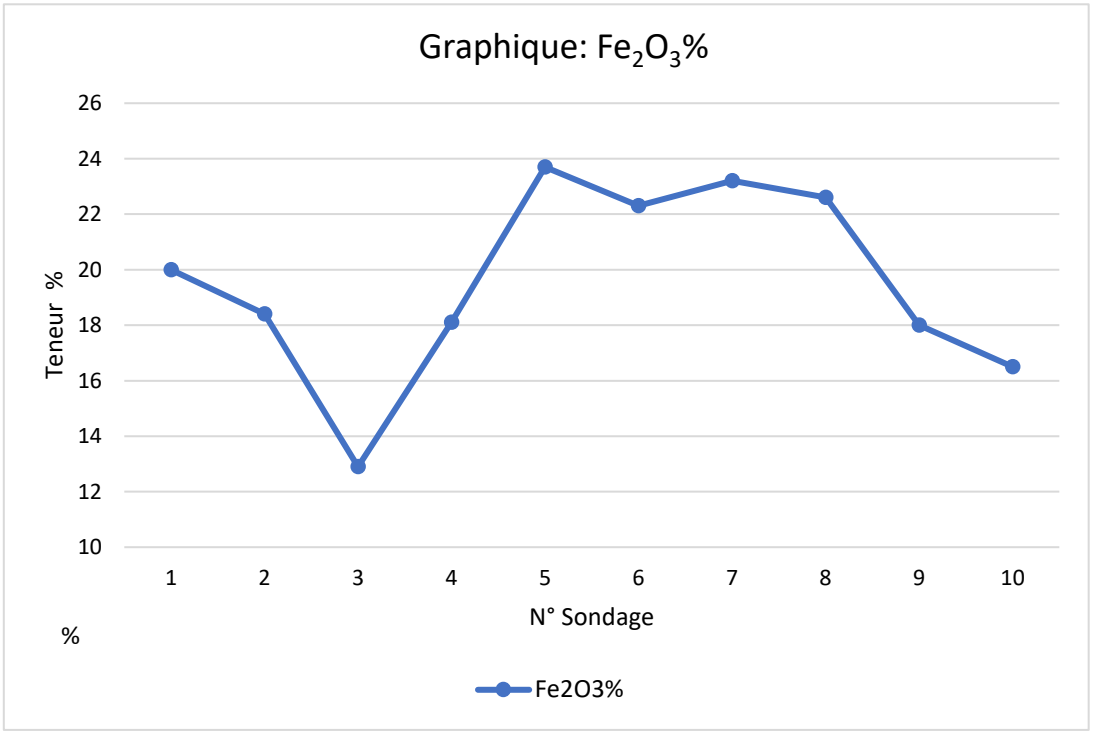


Fig. 8. Profil géochimique de Fe2O3

Nous avons également établi les profils groupés entre l'alumine et le Fe_2O_3d'une part et entre l'alumine et le TiO_2 d'autre part. Ces profils sont représentés respectivement par la **Fig.9** et la **Fig.10**.

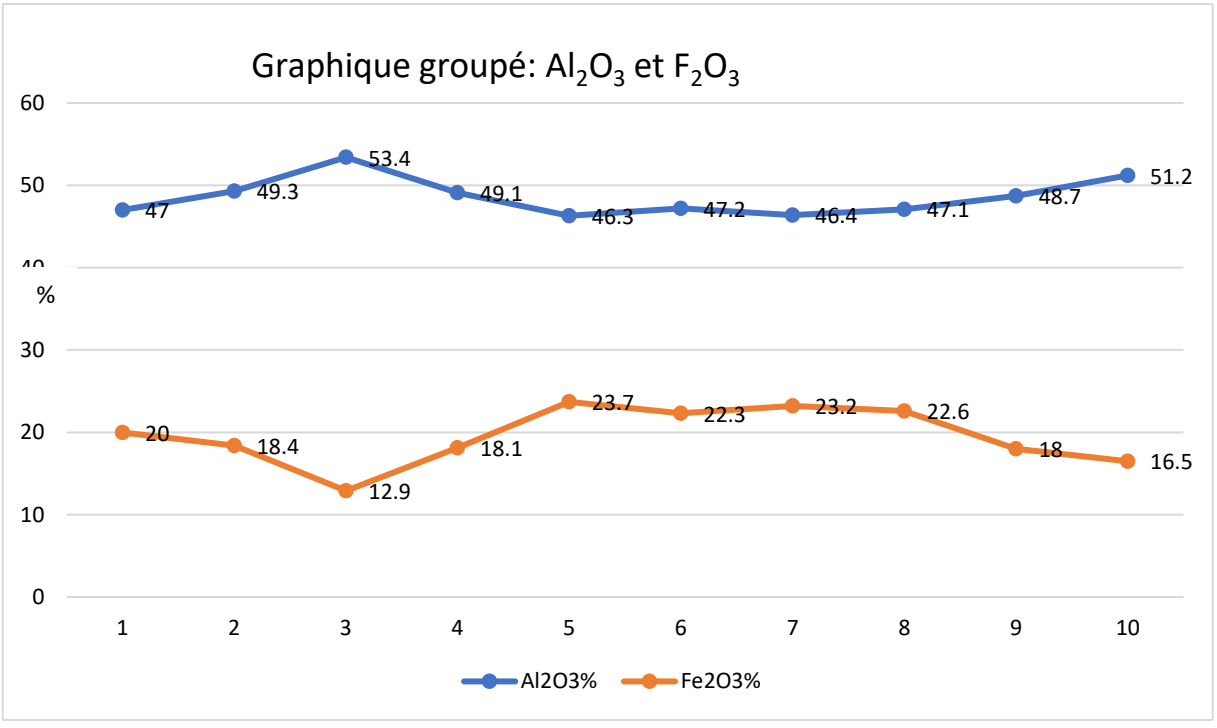


Fig. 9. Profil géochimique groupé entre Al2O3 - Fe_2O_3

3.3 INTERPRÉTATION DE LA COUPE LITHOLOGO-GÉOCHIMIQUE LONGITUDINALE DE HOUDA

L'examen de ces coupes nous montre:

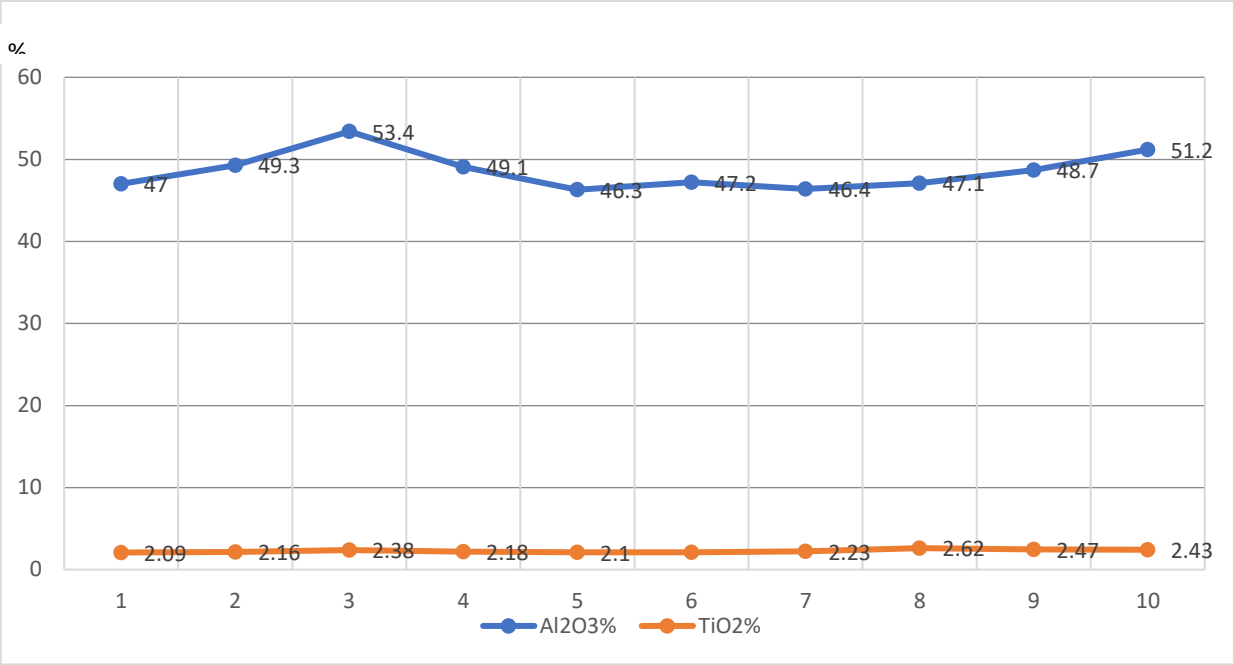


Fig. 10. Profil géochimique groupé entre Al_2O_3 - TiO_2

Remarque:

Une forte corrélation inverse entre Al_2O_3 et Fe_2O_3 sur le profil du sondage. On remarque un enrichissement en Al_2O_3 et un appauvrissement en Fe_2O_3 de 0 à 2m et de 2 à 10m.

Une augmentation de la teneur en SiO_2 de la surface en profondeur, liée au processus de lessivage. Dans l'intervalle de 0 à 2m, on remarque une légère élévation de la teneur en SiO_2; ce qui pourrait être dû à la présence du sol végétal.

Le titane apparait comme le paramètre le plus stable avec une teneur variant de 1,71 à 4,14%. Il présente une corrélation directe avec l'alumine (Al2O3). C'est pourquoi, on peut affirmer qu'il est le paramètre géochimique le plus approprié dans la détermination des roches liées aux formations bauxitiques. L'analyse de la lithologie et des profils géochimiques nous permet de subdiviser la coupe en trois (3) parties (zones):

Une zone des oxydes libres de 0,0-2,0m

Une zone de transition de 2,0 – 10,0m

Une zone des argiles de base supérieure à 10,0m.

Une forte augmentation de la teneur de Fe_2O_3 dans l'intervalle de 2 à plus de 10m fait penser une zone latéritique ferrugineuse, ce qui est attesté par la présence de la bauxite latéritique et de la latérite très ferrugineuse de couleur marron, brun-sombre et peu-tendre des teneurs moyennes en Al_2O_3 et Fe_2O_3 égales respectivement 37,30 et 53,40%; 12,00et 37,10% (**Tableau.2.**)

Tableau 2. Caractéristiques des paramètres géochimiques par la méthode géométrique

PARAMETRES	Gisements bauxitiques de Houda				
	Al_2O_3%	Fe_2O_3%	Tio_2%	Sio_2%	P.m
Valeur maximale X_{max}	53,40	37,10	4,14	12,40	28
Valeur minimale X_{min}	37,30	12,00	1,71	0,92	8,0
Ecart de valeur	16,10	25,10	2,43	11,48	20

3.4 ÉTUDES STATISTIQUES DES PARAMÈTRES GÉOCHIMIQUES

L'analyse statistique des données est une méthode de mesure objective basée essentiellement sur l'étude de la variable.

Trois (3) groupes de méthodes statistiques sont utilisés: le premier intéresse le traitement des variables prises une à une (analyse uni variée), le deuxième groupe des techniques d'études des variables concomitantes de deux (2) caractères (analyse bi variée) et enfin la troisième traite toutes les données simultanément (analyse multi variée).

Il est à retenir que l'analyse statistique des paramètres géochimiques des gisements bauxitiques de Houda a pour but de vérifier l'existence des différents paramètres géochimiques de bauxite. Elle se fixe comme objectif de contrôler l'homogénéité ou l'hétérogénéité du gisement et de préciser un groupe de complexité pour le choix rationnel de la maille de prospection. L'analyse statistique permet également de préciser la corrélation entre les paramètres géochimiques des bauxites. La nécessité de ces études est celle de livrer une information rigoureuse et objective du point de vue statistique sur le gisement.

Ẋ- moyenne du paramètre ou essais

$$\dot{X}=x=\frac{\Sigma Xi}{N} \quad (1)$$

où Xi – valeur isolée du paramètre

N- nombre d'essais

Le moment du deuxième ordre ou variance (dispersion) traduit la dispersion des valeurs du paramètre étudié autour de la moyenne.

$$D=\frac{\sum (Xi-\bar{X})^2}{N-1} \quad (2)$$

la racine carrée de la variance exprime l'écart moyen quadratique (ou déviation standard).

À l'aide de la moyenne du paramètre ($\bar{X}$) et de l'écart moyen quadratique (σx), on détermine le coefficient de variabilité par la relation.

$$V=\frac{\sigma x}{\bar{X}}\cdot 100\% \quad (3)$$

Ce coefficient est la représentation mathématique de la variation des propriétés du minéral utile.

Dans ce présent travail, l'analyse statistique des données comprend successivement les opérations suivantes dont:

L'étude de la variabilité des paramètres géochimiques ayant pour but l'étude des différentes classes géochimiques de bauxites,

L'homogénéité statistique et la détermination de la largeur des intervalles de variation et des fréquences.

ÉTUDES DE LA VARIABILITÉ DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Pour calculer le coefficient de variabilité totale, nous déterminons d'abord la moyenne arithmétique, l'écart quadratique et le coefficient de variabilité des principaux paramètres du gisement à l'aide du tableau des résultats d'analyse des travaux de prospection préalable des gisements de Houda (Tableau N°1).

CALCUL DE LA MOYENNE DES PARAMÈTRES GÉOCHIMIQUES

- Pour l'alumine: (Al_2O_3): N=82; $\sum$ Xi=3730,5

  ou $\bar{X}=\frac{3730,5}{82}=45,49\%$

- Pour le fer: Fe2O3; N=82$\sum$ Xi=1941,6

  ou $\bar{X}=\frac{1941,6}{82}=23,67\%$

- Pour le titane: (TiO2): N=82; $\sum$ Xi=190,49

  ou $\bar{X}=\frac{190,49}{82}=2,32\%$

- Pour la silice: (SiO2); N=82; $\sum$ Xi=216,62

  ou $\bar{X}=\frac{216,62}{82}=2,64\%$

- Pour la puissance: (Pm): N= 82; $\sum$ Xi=1151,3 m

  ou $\bar{X}=\frac{1151,3}{82}=14,04$ m

CALCUL DE LA DISPERSION, DE L'ÉCART QUADRATIQUE MOYEN (ΣX) ET DU COEFFICIENT DE VARIABILITÉ DES PARAMÈTRES GÉOCHIMIQUES DU GISEMENT

Pour l'alumine (Al2O3)

La dispersion est: $D=\frac{\sum (Xi-\bar{X})^2}{N-1}=\frac{7370,02}{82-1}=90,98$ (4)

L'écart moyen de quadratique: $\sigma x=\sqrt{D}=\sqrt{\frac{\sum (Xi-\bar{X})^2}{N-1}}=9,53$ (5)

Le coefficient de variabilité: $V=\frac{\sigma x}{X}\cdot 100\%=20,9\%$.

- Pour le fer (Fe2O3)

  La dispersion ou variance: $D=\frac{3835,86}{82-1}=47,35$

  L'écart moyen quadratique: σx=6,8

  Le coefficient de variabilité: V= 29%

- Pour le titane (TiO2)

  La dispersion ou variance est: $D=\frac{376,34}{82-1}=4,64$

  L'écart moyen quadratique: σx=2,15%

  Le coefficient de variabilité: V = 92%

- Pour la silice (SiO2)

  La dispersion ou variance est: $D=\frac{427,96}{82-1}=5,28$

  L'écart moyen quadratique est: σx=2,29

  Le coefficient de variabilité est: V = 86%

- Pour la puissance (Pm)

La dispersion ou variance est: $D=\frac{2274,52}{82-1}=28,08$

L'écart moyen quadratique est: σx=5,29

Le coefficient de variabilité: V =37%

DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE VARIABILITÉ TOTALE: LE COEFFICIENT DE VARIABILITÉ TOTALE SE DÉTERMINE SUIVANT LA RELATION

$$V_T=\sqrt{\sum Vx^2} \quad (6)$$

Pour notre cas précis

$$V_T=\sqrt{V^2Al_20_3+V^2Fe_20_3+V^2Ti0_2+V^2Si0_2+V^2P} \quad (7)$$

ou $V_T=\sqrt{(20,9)^2+(18,05)^2+(19,05)^2+(41,43)^2+(51,79)^2}$ = 136,03%

Suivant la valeur obtenue, nous affirmons que le gisement appartient au deuxième groupe de complexité des gisements (gisements irréguliers) d'après l'échelle de V.M. KREYTER (V=40-100%).

Tableau 3. Caractéristiques statistiques des paramètres géochimiques des gisements de Houda

PARAMETRES	GISEMENTS DE HOUDA	Paramètres géochimiques
Al_2O_3	Teneur moyenne %	45,49
	Écart moyen quadratique %	9,53
	Coefficient de variabilité %	20,9
Fe2O3	Teneur moyenne %	23,67
	Écart moyen quadratique %	6,88
	Coefficient de variabilité %	2,9
TiO2	Teneur moyenne %	2,32
	Écart moyen quadratique %	2,15
	Coefficient de variabilité %	92
SiO_2	Teneur moyenne %	2,64
	Écart moyen quadratique %	2,29
	Coefficient de variabilité %	86
P	Teneur moyenne %	14,04
	Écart moyen quadratique %	5,29
	Coefficient de variabilité %	37
Coefficient de variabilité totale ; %		136,03

4 DISCUSSIONS

Il faut noter qu'initialement, les dépôts avaient la composition chimique différente et par conséquent étaient composés de diverses quantités de minéraux majeurs [21]. Ainsi, par exemple, la nature bauxitique des galets et des graviers, composés entre autres de bœhmite, a déterminé la teneur plus élevée aussi bien en alumine totale qu'en Al2O3 mono des dépôts initiaux à galets-graviers (faiblement latéritisés). Par conséquent, ils y avaient initialement moins de silices dans les argiles sédimentaires [22]. Les traits communs, qui sont très importants pour la formation des bauxites de haute qualité et exceptionnelle, et qui déterminent une différence entre les roches de la même classe litho génétique.

Cependant, tous les faciès bauxitiques rencontrés et des roches mères ont subi des modifications au stade de sédiments dans le milieu géochimique réducteur et ont été blanchis (la plupart de fer a été déportée). Une certaine augmentation de la

teneur en Fe_2O_3 dans les roches faiblement latéritisées (inférieures) est secondaire et due à la précipitation du fer au niveau du battement de la nappe phréatique, ce qui est typique pour le profil d'altération [21], [22].

Dans toutes les roches, divers types litho-génétiques sont suscités; ainsi, on note une diminution de la teneur en SiO_2 et une augmentation de la teneur en Al_2O_3 surtout dans la partie centrale du gisement en allant de bas en haut depuis les roches substantiellement argileuses jusqu'aux bauxites de haute qualité. Cela reflète l'intensité de la latéritisation (bauxitisation) dans la séquence, et par conséquent l'altération de la kaolinite au profit des minéraux d'alumine [16].

5 CONCLUSION

Il reste entendu que la plupart des bauxites latéritiques se sont formées à l'endroit où on les trouve actuellement. Elles représentent un produit d'évolution pédogénétique particulier de roches silico-alumineuses sous un climat chaud et humide. Sous ce climat, et pourvu que certaines conditions soient remplies; bon drainage notamment; il se produit une hydrolyse intense des silicates de la roche mère. Les alcalins, les alcalino-ferreux et la silice sont éliminés, tandis que l'aluminium, le fer, le titane, se concentrent par accumulation relative et constituent des paramètres géochimiques pour cette étude (**Tableau 1**).

S'agissant de cette étude, les bauxites de Sinthiourou Linguèrè (Houda) ont une teneur en Al_2O_3 similaire aux autres blocs bauxitiques de Santou et de Kolia (concessions environnantes). La mise en place des faciès bauxitiques (gélomorphe et graveleuve) est liée à l'apport d'une substance alumineuse sous forme de composé métallo-organique.

Dans les horizons supérieurs du profil d'altération, la substance alumineuse se dissout partiellement et se recristallise, la bœhmite est partiellement remplacée par la gibbsite. Cependant dans les horizons inférieurs des bauxites du gisement, tous les types litho-génétiques de roches sédimentaires latéritiques ont une teneur moyenne relativement élevée en Al_2O_3 mono (de 8 à 20%).

Son analyse a révélé ce qui suit:

- Les bauxites gélomorphes structurelles (fig.4) rose-crème, dures sèches plus ou moins squelettiques prédominant jusqu'à la profondeur de plus de 10m par endroits, aussi la bauxite graveleuse (fig.3) rouge-jaune parfois sombre
- Une stabilité relative du TiO_2 avec une teneur variant entre 1,71 et 4,14%
- Une corrélation directe quoique faible entre Al_2O_3 et TiO_2 et entre Fe_2O_3 et SiO_2. Pour les autres combinaisons (Al_2O_3 et SiO_2; Fe_2O_3 et TiO_2) la corrélation est inverse faible ou presque nulle
- Une forte corrélation entre Al_2O_3 et Fe_2O_3
- Une forte augmentation de la teneur de Fe_2O_3 dans l'intervalle de 2 à plus de10m fait penser une zone latéritique ferrugineuse, ce qui est attesté par la présence de la bauxite latéritique et de la latérite très ferrugineuse de couleur marron, brun-sombre et peu-tendre des teneurs moyennes en Al_2O_3 et Fe_2O_3 égales respectivement 37,30 et 53,40%; 12,00 et 37,10% (**Tableau 1.)**

Pour finir, l'on retiendra que parmi les paramètres géochimiques étudiés, le titane apparait comme le paramètre le plus stable avec une teneur variant de 1,71 à 4,14%. Il présente une corrélation directe avec l'alumine (Al_2O_3). C'est pourquoi, on peut affirmer qu'il est le paramètre géochimique le plus approprié dans la détermination des roches liées aux formations bauxitiques

REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux personnes de bonne volonté qui ont contribué à la réalisation de ce document. Je remercie solennellement le Dr Ahmed Amara KONATE pour son encadrement et ses conseils dans la rédaction de documents scientifiques de ce type, malgré ses nombreuses occupations. Je remercie également Monsieur Mamadou Oury Diallo, ingénieur géologue et doctorant à l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, pour sa contribution significative et capitale dans ce travail.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs, à l'unanimité, ne trouvent aucun obstacle à la soumission de cet article à cette revue.

Les recherches qui ont conduit à ces résultats ont été financées par la Direction Générale de l'Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké et le Centre Emergent Mines et Société.

REFERENCES

[1] MAMEDOV V. I. and V. Nikitine, Y. A. (2010) Geology of the Republic of Guinea. Ministry of Mines and Geology of the Republic of Guinea.
[2] Hao, X., Leung, K., Wang, R., Sun, W. and Li, Y. (2010) The Geomicrobiology of Bauxite Deposits. Geoscience Frontiers.
[3] AHMED SEKOU TOURE: Mines et développement- Revue mensuelle d'information et de formation idéologique et technique (1980).
[4] NABY LAYE MOUSSA SOUMAH: Conditions de formation des Bauxites de haute qualité dans la Région de Boké (République de Guinée). Mémoire De Doctorat 3ème cycle, Moscou 1985.
[5] GUIZBOURG I.: Types of alteration crusts, form of their manifestations and classifications. Academy of Sciences of the USSR; MOSCOW-1963.
[6] B. SORYBA. A.A. KONATE- Etudes géologiques et géochimiques des gisements bauxitiques de Kolia- Boffa-2023.
[7] Statista (2020) Main Bauxite Producing Countries 2013-2019. https://fr.statista.com/statistiques/565292/principaux-pays-de-la-production-mondiale-miniere-de-bauxite/.
[8] KEBE TALIBE: Particularités géologo-geochimiques des types naturels des bauxites de DIAN-DIAN (M.F.E.S., 1992).
[9] BONIFAS MARTHE: Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique. Université de STRASBOURG 1959.
[10] MAMADOU ADAMA DIALLO: Possibilité d'application des méthodes géophysiques sur l'étape de la prospection d'exploitation des gisements bauxitiques de Boké 1987. -.
[11] MAMEDOV, V. I. et al. (1998) Rapport final des résultats de la première phase d'exploration sur le territoire de la Concession HALCO. BOKE: GEOCONSULT Ltd.
[12] Mamedov, V.I., Boufeév, Y.V., Nikitine, Y.A. and Mamedov, A.I. (2010) Bank of Useful Mineral Deposits and Index Data. Geoprospects LTD; Univ. Moscow State. Council, Aquarel, Moscow, 264 p.
[13] BHP BILLITON: Confidential report on prospecting for bauxite deposits at Kolia (Boffa prefecture-2008).
[14] DOURAMODOU CHARLES: Geochemical particularities of the bauxite deposits of Dabola (Boké 1997).
[15] BOUFEEV, Y. (1970) Final report on the study of the Boffa sheet. ORG.
[16] B.M. MIKHAILOV: Lois régionales et Locales de la distribution des gisements bauxitiques. «NEDRA» Division Leningradienne, Leningrad 1978 (68p).
[17] Michel, R., Bilbao, E. and Poirier, J. (2018) Recycling Bauxite Waste for the Mineral Industry: Phase Transformations and Microstructure during Sintering. Waste and Biomass Valorization. https://doi.org/10.1007/s12649-016-9775-y.
[18] Esterle, M., and Lajoinie, J.P. (2021) BAUXITES-Encyclopædia Universalis. https://www.universalis.fr/encyclopedie/bauxites/.
[19] Mamedov, V.I., Chausovb, A.A., Okonovb, E.A., Makarovaa, M.A. and Boevac. N.M. (2020) The World's Largest Fouta Djallon-Mandingo Bauxite Province (West Africa): Part I. Background. Geology of Ore Deposits. https://doi.org/10.1134/S1075701520020026.
[20] Ad Van Eenbergen/ Mamadou Diouldé Diallo Rapport de mise en service des nouveaux spectromètres de fluorescence XFAST Février 2003 (Labo C B G).
[21] FERET, F/Johnstone, R... «Analysis of bauxites in Sangarédi using Oxford QX XRF spectrometer and fusion sample preparation technique » ARDC, Report AR-/93/0047, October 1993.
[22] B. Boulangé, Bouzat, G. and Pouliquen, M. (1996) Mineralogical and Geochemical Characteristics of Two Bauxitic Profiles, Fria, Guinea Republic. Mineralium Deposita, Tardy, Y. (1997) Petrology of Laterites and Tropical Soils. AA Balkema, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/BF0018919024

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1158-1167
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Le New Public Management: Un impératif pour les organisations publiques au Tchad ?

[The New Public Management: An impérative for public organizations in Chad ?]

Moussa Kabir Saleh[1], Senoussi Seid Abakar[2], Djimnadjingar Ratangar[1], and Kouladoum Jean-Claude[2]

[1]Départment des Sciences de gestion, Université de Moundou, Moundou, Chad

[2]Départment de l'Economie, Université de Moundou, Moundou, Chad

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Being considered effective and creating value for national economies for many yeras, public organizations have sought in recent years to restructure and perform better. A questioning seems to characterize them given ther dysfunction followed by their poor performance. Obviously, the basic assumptions of administive action as well as traditionnal instruments appear insufficient and obsolete. Faced with this situation, a new perception of public management, in this case NPM, there fore becomes essential to meet the needs at the hour.
The objective of this paper aims to explain the articulation of the New Public Management concept in public organizations. Although in Chad, the implementation of this new management style has been significantly delayed, organizations using this concept are campaining for performance. To the extent that they have managed to reduce organizational dysfuction, NPM becomes an absolute necessity for all organizations, in order to achieve the desired performance.

KEYWORDS: New public Management, Administration and organizations public, State reform, Performance, Classical management.

RESUME: Etant considérées comme efficaces et créatrices de valeur dans les économies nationales depuis des belles lurettes, les organisations publiques cherchent à se restructurer et à se performer ces dernières. Une remise en cause générale semble les caractériser compte tenu de leur dysfonctionnement suivi de leur mauvaise performance. Manifestement, les hypothèses de base de l'action administrative, tout comme ses instruments traditionnels s'avèrent insuffisants et obsolètes. Face à cette situation, une nouvelle perception de la gestion publique, le NPM devient dès lors indispensable pour répondre aux besoins de l'heure.
L'objectif de ce papier est d'expliquer l'importance de l'articulation du concept New Public Management dans les administrations et organisations publiques. Bien qu'au Tchad, la mise en œuvre de ce nouveau style de management (NPM) ait accusé un grand retard, les organisations usitant de ce concept militent en faveur de la performance. Dans la mesure où ces dernières se sont parvenues à réduire le dysfonctionnement organisationnel, le New Management Public devient une nécessité absolue pour toutes les organisations publiques pour l'amélioration de leur performance.

MOTS-CLEFS: New Public Management (NPM), administration et organisations publiques, réforme de l'Etat, Performance, Management classique.

1 INTRODUCTION GÉNÉRALE

Pendant les 30 premières années après les indépendances (1960-1990), les organisations publiques (Administration et entreprises publiques) ont été le moteur de la croissance et du développement des pays africains. Considérées comme des

pourvoyeurs d'emplois, incubateurs et créatrices de valeur ajoutée, elles étaient performantes et à la hauteur de leur mission à la fois sociale et économique. Ces dernières années (à partir des années 90 à nos jours), la majorité d'entre elles, est caractérisée par un management précaire et une gouvernance inefficace et presque inexistante. Une incertitude caractérisant ces organisations qui n'ont jamais fait l'objet d'une réflexion profonde, alors que l'Etat tchadien et les pouvoirs publics les ont multipliés dans tous les secteurs économiques du primaire au quaternaire, conformément a la théorie du libéralisme. Face à la mise en place et création de multiples organisations sans objectifs prédéterminés, et soutenues par la relative prospérité du boom économique du pays, il s'en est créé une grande confusion ayant régné dans l'administration et la gestion des dites organisations, et surtout dans leurs rapports d'autonomie de gestion et d'administration avec les ministères concernés. Cette confusion a engendré le dysfonctionnement du secteur public voire parapublic et par conséquent a ralenti la politique de l'Etat vis-à-vis de ces organisations.

Dès lors, des dysfonctionnements se sont intensifiés à la limite de conduire certaines organisations à la privatisation ou à procéder à leur liquidation judiciaire en déposant leur bilan. Bien qu'elles soient qualifiées d'inefficaces et moins rentables, ces organisations publiques et parapubliques paradent des preuves pendant moult années, des dysfonctionnements et de déficiences en raison de leur nature organisationnelle et de la finalité de leur mission [1]. Par conséquent, l'amélioration de la performance de ces entités constitue un défi crucial à relever, dont les décideurs sont interpelés afin de juguler la situation qui en prévaut. En dépit des dispositions de contrôle et de dissuasion prises par l'Etat tchadien pour une gestion rationnelle et une gouvernance efficace des organisations et administrations publiques, la performance de celles-ci laisse à désirer et soulève de questionnement pertinent. Dans ce contexte, la gestion de leur performance doit interpeler les autorités publiques à promouvoir le New Public Management (NPM) afin d'amorcer la dynamique administrative et d'impulser la performance desdites entités.

En effet, le New public Management[1] *(NPM)* constitue une méthode de gestion visant à rationaliser l'administration publique en général et les organisations publiques et parapubliques en particulier, et a donc pour but, de les conduire, en transposant très largement les méthodes développées dans les organisations privées. Bien qu'elles ne soient pas toutes performantes, les organisations privées constituent le modèle idéalisé de pratiques associant efficacité et productivité. Alors que le recours au *NPM* permettrait aux organisations publiques de réussir, et de répondre aux attentes des parties prenantes afin d'assurer leur survie [2]. Dans un environnement complexe affecté de diverses crises, le management public impulsé par le NPM parait indispensable, dans la mesure où les organisations publiques sont interpelées par des défis nouveaux liés aux exigences sociales, et aux besoins multiformes des usagers ainsi qu'à des restructurations des moyens [3].

A ce titre, le papier propose un survol de la gestion classique des organisations publiques dans une première partie. Ensuite, il insiste sur l'évolution de l'approche du NPM, de la combinaison des facteurs de changement et des potentiels et défis de son opérationnalisation au sein des organisations publiques. Il vise enfin, à délimiter les contours et domaines où la pratique du Nouveau Public Management constitue un support précieux pour l'amorce de la performance. Le but étant de fournir une réflexion théorique, sur la nouvelle gestion publique constituant ainsi, un cadre de référence approprié pour l'instauration d'une politique réalisable en matière de management des organisations publiques au Tchad.

2 LE MANAGEMENT CLASSIQUE DES ORGANISATIONS PUBLIQUES

Si l'on en croit au paradigme de la gestion Wébérienne (Modèle bureaucratique de Marx Weber), le management d'une institution, ou d'une collectivité ne ressemble pas tout à fait à celui d'une organisation privée. Cependant Il y a autant de divergences que des ressemblances sur certains aspects, notamment la gestion des ressources humaines, la mise en place des règles et procédures et la gestion des projets. Mais, sous un autre angle, le management public reste très spécifique et qu'il doit s'accommoder à un environnement complexe dont la composition de multiples facteurs rend complexe les taches et activités. D'une part, la multiplicité d'acteurs et d'institutions, d'horizons de nature différente, puis de territoires et de compétences variées, et d'autre part, il doit s'adapter à un cadre législatif et règlementaire très dense à l'instar de la constitution et lois qui régissent l'Etat et ses institutions [4].

Pour [5], les quatre (04) composantes qui permettent de caractériser les organisations publiques constituent un défi majeur pour l'atteinte de leur performance organisationnelle**.**

[1] NPM : Sigle reconnu sous l'appellation angloxasone New Public Management, slogan mise en place dans le cadre de réformes axées sur la modernisation de l'Etat et des services publics (Hood, 1991 ; Politt et Bouckaert, 2000).

En effet, la première composante des organisations publiques se manifeste par des procédures relatives aux poursuites des finalités extérieures, alors que les organisations privées poursuivent, d'une manière autonome une finalité interne de suivi et de développement. Les organisations publiques sont soumises à des finalités externes définies et imposées par la loi (défense nationale, éducation, état civil, aide sociale,...). La deuxième composante d'une importante accrue, se manifeste sous l'angle de l'absence ou de la réduction de rentabilité financière au profit de la rentabilité sociale. Une troisième composante, non de moindre importance, est relative aux missions que les organisations se doivent réaliser dans une logique de concurrence imparfaite. La dernière composante consiste à la soumission de l'action administrative de ces organisations à la politique publique du pays. Si bien qu'elles soient essentielles, ces quatre composantes sont inhérentes à l'affaiblissement des organisations publiques dans leur quête de performance économico-financière.

A la différence du secteur privé, la gestion du secteur public, comporte deux dimensions [5] notamment; les impératifs de gestion identiques dont l'objectif consiste à produire des biens et services sans la moindre rationalité ou des ressources consommées. De plus, la grande différence relative au secteur privé, tient du fait que la majorité de ces organisations publiques n'ont pas vocation à réaliser des profits, puisqu' elles ont pour mission de redistribuer des ressources en vue d'atteindre les objectifs sociaux. Des obligations de service public de nature à la fois politique et juridique participent fortement à la légitimité des services administratifs et se sont fondées sur le respect des principes et des valeurs régaliennes. Cette légitimité appelée « primaire » est complétée par une autre forme de légitimité appelée « secondaire » où les acteurs des politiques publiques cherchent une reconnaissance par la qualité de leurs prestations à l'attention des acteurs sociaux [6].

Cependant, l'une des caractéristiques de NPM est bien d'insister sur la légitimité secondaire des organisations du secteur public en focalisant l'attention sur la recherche de l'efficience organisationnelle et l'amélioration de la qualité des biens et services produits par l'administration [7]. Depuis les années 1970, un vaste chantier de réformes a investi la sphère publique, redessinant ainsi les contours de cette « nouvelle gestion publique». [8] soulignent que malgré l'incroyable capacité des organisations publiques à résister aux projets de réforme qui leur sont appliqués, les bouleversements profonds que connaissent actuellement ces organisations ont des répercussions sur les rôles, et les conditions de travail des acteurs publics. Ces derniers sont amenés à modifier leurs habitudes de se conduire pour impulser ces dernières d'être efficaces, efficientes et économes. Pour cela, l'organisation privée semble être le modèle idéalisé alliant efficacité et efficience, s'opposant à une bureaucratie symbolisant un processus de dysfonctionnements accrus [9].

3 APPROCHE DU NOUVEAU PUBLIC MANAGEMENT (NPM)

Durant la période des années 70, plusieurs Etat ont ressenti la nécessité de moderniser l'administration et organisations publiques dans le but d'améliorer leur gouvernance en vue d'atteindre leur performance. Les pays occidentaux (OCDE) étaient les premiers à s'engager dans un processus de modernisation de leur gestion publique sous la coupe de la logique d'action du secteur public qui, ayant connu des évolutions considérables. Ce processus ayant passé du vieux paradigme traditionnel de l'administration wébérienne » à un « nouveau management public » ou nouvelle gouvernance publique [10]. Plus tard après l'adoption par les pays occidentaux de la nouvelle gestion publique, les pays africains ayant ressenti la nécessité de la réforme administrative, avaient sollicité la mise en place de NPM en tant qu'outil de gestion permettant d'améliorer la performance de ces organisations publiques.

3.1 FACTEURS D'EMERGENCE ET DEVELOPPEMENT DU COURANT DE NPM

Dans le souci de renforcer la gestion et booster la performance des administrations et organisations publiques, il a été convenu de saisir les différents principes et modes de gestion qui ont marqué la gouvernance et la performance des organisations privées. Le NPM constitue un outil efficace de gestion pour transposer au sein des organisations publiques une gestion inspirée du secteur privé. De nouveaux modes de management ont été introduits à la gestion publique progressivement dans le monde visant la modernisation de l'État [11]. Suivant les évolutions de contextes à la fois socio-politique et socio-économique, l'obsolescence du modèle wébérien a conduit les Etats à adopter le NPM, ainsi apprécié comme le plus fiable en termes d'efficacité de la gestion publique. A cet effet, l'amélioration de la Gestion et de la gouvernance du secteur public, amorcée par le NPM a fait appel à des méthodes complexes issues du secteur privé, générant ainsi une série de réformes initiée par de nombreux pays à travers des mouvements dont l'esprit et la vocation demeurent comparables [12]. Ce paradigme a pour but la transposition vers le secteur public des outils de l'efficacité du management. Toutefois, pour réussir cette transposition, les spécificités de ce secteur devraient être prises en considération.

3.1.1 FACTEURS D'ÉMERGENCE DU NPM

Si la gestion classique de type wébérienne a dominé le monde jusqu'aux années 70, elle est devenue obsolète au profit de celle de type moderne NPM. En effet, les limites du management classique au sens du Weber au sein des administrations et organisations publiques se justifient par la nature des tâches réalisées et de l'espace circonscrit en fonction de l'organigramme. Il en résulte[2] des conséquences sociales et managériales qui se sont manifestées par une insatisfaction du citoyen et de l'ensemble des parties prenantes, par un surcout et une dégradation accrue des services rendus. Dès lors, il était question d'instaurer une nouvelle culture au sein de l'administration qui place les citoyens au centre d'intérêt du service public.

Ainsi, au niveau des organisations publiques, plusieurs facteurs ont été à l'origine de l'adoption de NPM, puisque le 21ème siècle constitue un défi propre à la concurrence. En effet, l'histoire de ce paradigme révèle divers facteurs qui expliquent sa genèse et son développement en l'occurrence. La gestion inefficace des administrations et organisations publiques qui se manifestait par une dette publique élevée et des déficits publics croissants. Selon [13], les principaux facteurs des réformes administratives étaient les crises financières ayant secoué le monde. En France comme dans les autres pays occidentaux, les réformes remontaient aux années 60 qui visaient à optimiser la gestion des fonds publics en se basant sur une évaluation coûts-bénéfice ou coûts-efficacité des projets programmés.

En effet, la remise en cause du rôle de l'Etat se traduit par la recommandation de méthode NPM à limiter le rôle de l'Etat sur les plans économique, social et juridique et ce, pour créer de nouveaux secteurs d'activité conformément à la loi du marché. Simultanément, le NPM requiert les nouveaux besoins sociaux dans la mesure où les citoyens devraient exiger une meilleure qualité des services publics et moins de pression fiscale [14]. Ces usagers des services publics deviennent à ce titre, comme des clients (consommateurs) et des actionnaires (sur le plan fiscal).

3.1.2 DEFINITIONS OPERATIONNELLES ET PRINCIPES D'ACTION DU NPM

Depuis de décennies, plusieurs auteurs s'accordent sur certaines définitions de NPM même s'il existe des nuances apparaissant quant à sa méthodologie d'application. [15] définit le management public comme «*l'ensemble des processus de finalisation, d'organisation, d'animation et de contrôle des organisations publiques visant à développer leurs performances générales et à piloter leur évolution dans le respect de leur vocation*». Pour [16], il existe plusieurs définitions du NPM proposées par divers auteurs, néanmoins, ce concept est en constante évolution pour s'adapter aux contextes locaux. Le point fort sur les réformes initiées à travers le courant de pensée NPM, est le passage d'une gestion traditionnelle de l'administration publique vers une gestion moderne fondée sur les outils et les modes de gestions utilisés dans le secteur privé. [17] définit le NPM comme un ensemble hétérogène d'axiomes tirés de théories économiques, de prescriptions issues des savoirs de management, de descriptions de pratiques expérimentées dans des réformes (notamment dans les pays anglo-saxons) et de systématisations produites par des organismes comme l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économique).

En s'appuyant sur la programmation, la contractualisation, la coordination et l'évaluation des décisions, le NPM met en place les principes axés sur les trois E (Économie, Efficacité et Efficience) [18]. Selon l'auteur le NPM «utilise des méthodes et des outils issus du secteur privé, basés sur la recherche de la performance et de résultats ». Rejoignant ce dernier, [19] soutiennent que la mise en œuvre de ces trois "E" « permet de concilier les notions de flexibilité, d'efficacité, d'efficience et d'évaluation.». Ce courant de pensée interpelle les gouvernants à reconfigurer leurs relations avec les salariés. Le NPM en tant que levier du changement se base sur l'opinion publique, les espaces de délibération et de concertation. Dans cette perspective, le management public, au sens large, devient le management absolu lorsque le public prend conscience de l'effet de l'action de l'organisation sur son environnement économique et social. Ainsi donc, le NPM devient un nouveau cadre de gouvernance qui favorise l'adoption au secteur public, des méthodes du management privé qui rendent efficaces les organisations sur le marché concurrentiel [20].

[2] Khadija Idrissi Et Lahcen ELAMRAOUI (2018) : Apport du nouveau management public dans la consécration de la performance de l'administration publique marocaine, Revue du Contrôle de la Comptabilité et de l'Audit ISSN: 2550-469X Numéro 7

3.2 LES OBJECTIFS DU NPM

Pour juguler aux dysfonctionnements bureaucratiques, renforcer la performance et améliorer la gouvernance, les administrations et organisations publiques devraient envisager des restructurations organisationnelles en adoptant de nouvelles techniques de management et user des nouvelles technologies de l'information et de la communication [21]. Le NPM constitue à ce titre, un nouveau cadre de rationalisation de la gestion du secteur public, en vue d'affecter les comportements des organisations publiques, en se concentrant sur l'amélioration de la qualité des services et la rentabilité des ressources disponibles. Pour ce faire, les organisations se doivent d'opérationnaliser les objectifs du NPM qui se manifestent sous quatre axes [22] qualifiés de l'efficacité, de l'efficience, de l'ouverture et accessibilité et de la responsabilité:

- S'agissant de l'efficacité, le NPM vise l'amélioration de l'action publique pour une meilleure qualité des services publics rendus aux usagers, et tente de déterminer dans quelle mesure les services atteignent leurs objectifs dans des délais optimisés et avec un taux d'erreur très réduit;
- Quant à l'efficience, elle renvoie à la nécessité d'optimiser les moyens mis en œuvre en vue d'atteindre les objectifs fixés et d'accomplir les missions. Le NPM préconise de réaliser des économies d'échelle grâce à une meilleure qualité des processus de production et à une utilisation optimale des ressources engagés;
- Pour ce qui concerne l'ouverture et l'accessibilité, elle se manifeste par le fait que les organisations publiques sont tenues de rester à l'écoute des usagers en identifiant leurs besoins, en les impliquant dans la prise des décisions en matière d'action administrative et d'assurer l'accès aux services publics par l'adaptation des horaires d'ouverture. De même, elle consiste à simplifier les procédures et les nomenclatures administratives pour renforcer l'accessibilité des usagers des services publics;
- Pour ce qui est de la responsabilisation notamment, elle se rattache à la nécessité de rendre des comptes aux citoyens, (par les administrations et organisations publiques), dans un contexte d'évaluation de l'efficacité et de l'efficience des actions publiques.

3.3 LES MANIFESTATIONS IDEALES DE NPM SUR LES ORGANISATIONS PUBLIQUES

Le management public classique en raison des règles et procédures jugées rigoureuses et peu fiables constituent un défi crucial pour enclencher la performance des organisations publiques. Il se dote de la gestion des agents publics qui repose sur des règles, des procédures et des statuts constituant un référentiel pour les pratiques de gestion des ressources humaines. Cependant, le NPM adopte des méthodes et objectifs plus variables dont la vocation de la gestion est axée sur le résultat.

En effet, selon la conception idéale de NPM, les pratiques des services publics doivent être mieux évaluées et contrôlées dans la mesure où l'État et les usagers disposent d'un excellent atout à jouer [23]. Aussi, pour un système public fonctionnel et cohérent et correctif de la corruption, il est nécessaire que les salariés des services publics soient correctement payés. En 2003, le PNUD affirme en soutenant que des systèmes publics performants sont bien possibles et « la récente tendance à la privatisation des services collectifs a ignoré l'expérience des pays riches, ainsi que celle de beaucoup de pays en développement aujourd'hui, qui ont misé sur les systèmes publics pour fournir ces services à la plupart de leur population, alors que les acteurs privés n'ont joué qu'un rôle modeste dans ce processus». Une rénovation des services publics conduisant à plus de clarté et de démocratie dans leur fonctionnement, a engendré plus de pouvoir pour les usagers. Le PNUD soutient que chaque pays doit concevoir ses propres systèmes de services publics, choisir l'importance donnée au secteur public de même que les formes d'association la plus plausible entre le public et le privé.

Par ailleurs, l'innovation publique lancée grâce aux réformes centrées sur l'amélioration des services, la reddition des comptes et la qualité des ressources humaines, constituent des principaux indicateurs des sources d'efficacité dans les organisations publiques [21]. Si les pays européens y ont souscrit, depuis longtemps, avec des résultats moins satisfaisants l'Afrique, par contre accusant le retard pour le développement en la matière, a pris tardivement le chemin dans le processus, lié à ses spécificités socioculturelles, politiques et économiques. L'image caricaturale de sous-développement a fourni une insuffisance en matière de la performance du secteur public africain, tout comme celui du Tchad, qui ayant conduit au constat selon lequel, la gouvernance publique est fortement affectée par des multiples facteurs de contingence, causant ainsi des maux terribles (détournements des biens, corruption, etc.) aux organisations publiques. Ces maux étaient la source d'inefficacité managériale dans ce contexte freinant de facto, le déclenchement de la performance des dites organisations. Aussi, force est de remarquer que l'économie et la structure politique, évoluant sur les traces de la pauvreté et des réalités du régime colonial, continuent d'influencer négativement la qualité de la fonction publique africaine [24].

En mettant l'accent sur la notion de mérite, d'individualisation, des rémunérations indexées puis de l'appréciation du personnel se basant sur des évaluations, le NPM exige le modèle de l'efficience ou de modèle du marché qui vise à rendre les organisations publiques plus efficientes en le comparativement à leurs homologues du secteur privé. La priorité est ainsi

accordée aux notions économiques de concurrence et de performance de ces organisations. Pour ce qui est du modèle retenu pour la gestion financière et comptable, le NPM dans ce contexte, insiste sur le développement du contrôle de gestion avec des analyses en termes de « coûts – performances » des activités, en particulier avec une forte attention portée sur la réduction des effectifs [24]. Le NPM au total, vise à valoriser la performance résultant alors de l'alliance « efficacité – efficience » au regard d'un référentiel, en tenant compte de marges de manœuvre accordées aux administrations. Par l'application des catégories de l'entreprise aux organisations publiques, on assiste au passage de la logique de l'efficacité à celle de l'efficience. Soulignons que l'efficience présente le rapport entre le résultat obtenu et les moyens engagés d'autant que ce passage se trouve orchestré au nom de « la réforme de l'Etat » fondée sur l'argument idéologique de la modernisation [25].

4 ARTICULATION DE NPM À LA LOGIQUE DES ORGANISATIONS PUBLIQUES

Dans un management classique, la logique d'efficience appliquée aux organisations publiques affronte les valeurs traditionnelles de l'Etat-administratif selon lesquelles, un service public ne peut s'intéresser à des questions de rentabilité. Alors que la rentabilité renvoie à la notion de profit, ce qui serait contraire aux valeurs régaliennes du service public, valeurs dont ce type de service tire sa légitimité [26]. Or, le NPM se trouve alors associé au « changement » dont sa vocation est inhérente au projet qui, consiste à insuffler l'« esprit d'entreprise » dans l'appareil étatique, en introduisant des logiques de marché dans son fonctionnement, et la perspective de la gouvernance privée [26]. Cela se justifie par la concurrence qui est toujours citée comme étant fondatrice de l'efficience du marché puisse tenir lieu de principe politique.

4.1 ORGANISATIONS PUBLIQUES À L'AUNE DE NEW PUBLIC MANAGEMENT

Depuis les années 80, la gestion de la chose publique dans les pays développés a connu le changement paradigmatique [27]. Selon ce dernier, ce changement a induit la transformation structurelle aux différents niveaux notamment; organisationnels, managériaux, numériques et éthiques au sein du gouvernement, ainsi que d'une révision générale du mode de fonctionnement des administrations publiques et de la remise en question du rôle de l'État. Dans le souci de doter l'administration et organisations publiques de nouveaux modes de gestion combinant efficacité, flexibilité, réactivité et mutabilité, une grande variété de réformes impulsées par le NPM a été adoptée par divers gouvernements. S'alignant aux diverses évolutions des pratiques internationales, plusieurs chantiers de réformes enclenchées par les Etats africains afin de moderniser leur gestion publique et consolider la gouvernance des établissements et entreprises publics en vue d'assurer une meilleure mise en œuvre des politiques et stratégies publiques [28].

En effet, la littérature théorique et empirique présente une grande ambigüité sur les mérites de la privatisation et de la propriété privée. Cette réalité paradoxale est encore accentuée lorsqu'on établit un parallèle entre, d'une part, le secteur privé efficient et compétitif grâce à un modèle de gestion organisé autour des notions de suivi, de contrôle et d'incitation, et, d'autre part, le secteur public, en particulier, qui souffre d'une faible gouvernance et d'une productivité insuffisante. A ce titre, les organisations publiques en l'occurrence, doivent changer de modèle bureaucratique, en alliant efficacité et transparence afin de s'adapter à un environnement de rendement en constante évolution. Elles doivent y faire face à la réalité du changement pour y réussir et être performantes [29]. Un intérêt croissant a été accordé à l'administration et organisations publiques pour accompagner les évolutions de l'environnement et contribuer à améliorer le travail et la performance de ces dernières. Dans les économies émergentes et celles en transition, le Nouveau Public Management a été fortement préconisé par la plupart des institutions financières internationales à l'instar de la Banque mondiale et du Fonds monétaire international, comme étant, un outil de la bonne gouvernance, et de lutte contre la corruption afin d'établir une fonction dont la gestion de la chose publique tient au mérite [30].

4.2 FACTEURS D'ÉMERGENCE DU NPM DANS LES ORGANISATIONS PUBLIQUES AU TCHAD

Après plusieurs années d'observation et de réflexion, les gouvernements successifs du Tchad ont été interpelés par la gestion chaotique et gabégique de l'administration et des organisations publiques. En mettant sur pied un plan d'exécution pour diagnostiquer la mauvaise gestion le Gouvernement Tchadien a engagé une série de réformes dans l'administration en général et organisations publiques en particulier. Ces réformes se fondaient sur l'hypothèse selon laquelle, sous les contraintes que les organisations se mobilisent, les besoins objectifs des usagers sont ressentis d'une manière accrue et l'Etat tchadien n'a pas le choix que de procéder à la réforme de ses appareils administratifs. A ce titre, il y a bien aujourd'hui, une remise en cause profonde des valeurs, des normes d'actions et des modes opératoires de l'administration dans les organisations publiques au Tchad, conduisant à s'interroger sur sa capacité à répondre aux défis actuels de la société. Comme le souligne [31], cette crise est multiforme dans ses manifestations et s'explique sous quatre formes:

Une première crise dite cognitive est relative à l'incertitude qui affecte les mécanismes d'explication sur ce que font ou non les organisations publiques. Une autre crise dite normative conduit à la remise en cause des normes et procédures qui encadrent et définissent la conduite de l'action publique. La troisième crise de médiation se définit comme une panne de mécanismes qui organisent et activent le dialogue entre les divers groupes de l'Etat. Enfin, la crise de légitimité relative aux pertes de confiance progressive dans l'action de l'Etat et son personnel politique et administratif. Ainsi, la légitimation de l'intervention publique par le concept de la puissance publique puis par le concept de l'intérêt général ne marche plus [32]. L'Etat providence est remis en cause et l'action de l'Etat ne peut être légitimée que si elle est efficace. Dans ce contexte, la procédure d'adoption de NPM est aussi pertinente pour que les organisations publiques au Tchad se réveillent pour la quête de leur performance. Introduit dans les années 1970 avec les économistes libéraux, le NPM exige un meilleur partage des rôles entre le pouvoir politique, qui prend les décisions stratégiques et fixe les objectifs, et l'administration, qui prend les décisions opérationnelles. C'est dans le souci de promouvoir une telle modernisation du management, que l'Etat tchadien s'est déterminé à enclencher des reformes des organisations, les conduisant à un plus grand pragmatisme de gestion au sein des administrations publiques. De ce fait, les dites organisations ayant introduit le NPM cherchent à se performer afin d'améliorer le rapport coût/service.

4.3 APPLICATION DU NPM DANS LES ORGANISATIONS PUBLIQUES AU TCHAD

Alors que la conception de la gestion de l'efficacité en management a été introduite uniquement au secteur privé oubliant la sphère publique, et ce, presque dans tous les domaines des politiques publiques. Il semble opportun en cette période où la mauvaise gestion[3] de la chose publique au Tchad a atteint le point culminant, de mettre en place le NMP dans toutes les organisations et administrations publiques allant de la santé à l'éducation en passant par les transports, à la sécurité, et aussi aux services gouvernementaux. L'hypothèse centrale réside dans le fait que l'opérationnalisation de NPM dans les pratiques managériales améliore à la fois l'efficience et l'efficacité des organisations publiques [33]. En suivant cette logique, l'objectif consiste à améliorer la performance du secteur public tchadien à travers ces organisations, à l'image de nombreux pays de l'OCDE qui se sont engagés dans un processus de modernisation de leur gestion publique [34]. La logique d'action du secteur public est passée du vieux paradigme traditionnel de l'administration publique ou « paradigme wébérien » à un Nouveau Public Management (NPM) ou la nouvelle gouvernance publique [10].

Si le NPM est devenu un modèle international standard de la réforme des organisations publiques, force est de retenir que au niveau du Tchad, le NPM a été introduit suite à la série des reformes des années 2000 où l'Etat a mis en place de dispositif de contrôle et d'accompagnement des organisations et de services publics. En effet, durant la dite période (2000-2015), *l'organisation Transparency international,* a dans son classement en matière de la gouvernance des institutions étatiques, attribué au Tchad, les notes les plus médiocres en matière de perception de la corruption et de la mauvaise gestion[4]. Suite à ces résultats, le Tchad a procédé à des réformes objectives en mettant en place, un arsenal de contrôle et un dispositif d'accompagnement, en vue d'éradiquer ce fléau et contribuer à une gestion de type moderne. Les actions entreprises par le Gouvernement ont visé principalement à instaurer la bonne gouvernance dans le secteur public en vue d'amorcer la performance des organisations de la sphère publique. Ces actions ont fait l'objet d'une création de l'agence nationale d'investigation financière en 2006, de l'adoption en 2012 d'une stratégie nationale de bonne gouvernance et d'une loi anticorruption en 2016, de la création en 2009, d'un Ministère chargé du contrôle et de l'assainissement public et en 2015, une Inspection Générale de l'Etat[5]. S'appuyant sur cet arsenal, le Gouvernement a diligenté en 2018, une série de missions de contrôle de la gestion des ressources allouées aux structures de l'État afin de jauger la performance de ces organisations publiques. L'objectif était donc d'investir l'ensemble des ressources que dispose l'organisation pour une gestion axée sur le résultat. Malgré certains déficits dus aux moyens budgétaires et infrastructurels qu'exige le NPM, les résultats attendus étaient partiellement soutenables. Toutes fois, l'instauration du NPM s'avère non effective en raison de la complexité de procédures et des dispositifs adéquats.

[3] Conseil économique et social (2020)

[4] En 2012, le Tchad est classé 165 ème sur 176 pays (contre 172ème sur 179 pays en 2007) en matière de corruption

[5] 12 En dehors de contrôles effectués par les contrôleurs financiers, sous-tutelle du Ministère des Finances, l'Etat a créé depuis 2009 un ministère chargé de moralisation et de l'assainissement des deniers publics dont la principale mission est d'effectuer de contrôle et audits

4.4 LE NEW PUBLIC MANAGEMENT COMME OUTIL DE GESTION EFFICACE DES ORGANISATIONS PUBLIQUES

De par ses manifestations idéales et concrètes, le *New Public Management* est constitué de concept de gestion permettant d'insuffler « l'esprit d'entreprise » dans l'appareil d'Etat en introduisant des méthodes utilisées aux organisations privées dans la logique de fonctionnement du secteur public. Dans cette optique, le *NPM* intègre la perspective de la gouvernance privée, c'est-à-dire en faisant comme si la concurrence qui est toujours citée comme étant fondatrice de l'efficience du marché, puisse tenir lieu de principe publique et politique. Un tel projet s'est mis en place à partir de la décennie 80, d'abord en Grande-Bretagne, du fait des promesses politiques de réduire les impôts, mais aussi du fait de la volonté de désengagement de l'Etat. Une autre raison de son développement est apparue avec la nécessité ressentie d'une plus grande responsabilité économique des services publics.

Le New Public Management insiste sur les différents niveaux de l'organisation allant de la programmation à la coordination en passant par la contractualisation pour aboutir à l'évaluation des décisions (ex ante et ex post) dans le rouage du secteur public. En effet, [35] soulignent que le NPM se caractérise par la mise en œuvre des indicateurs d'activités, des outils de gestion budgétaire et de contrôle, mais également d'outils de mesure des coûts dans la perspective de répondre à trois logiques d'action.

Ainsi, la première logique est celle de l'efficacité socio-économique[6] qui permet aux entités publiques de répondre aux besoins de la population et de garantir leur rentabilité gage de leur pérennisation. En deuxième lieu, la logique d'action du *NPM* repose sur le fait de considérer l'aspect financier comme étant central, et la troisième logique repose sur la volonté du « pouvoir central » de contrôler « à distance ». Cette variété de logiques d'actions cumulativement utilisées par le *New public Management* a abouti au slogan[7] qui lui est propre reposant sur les trois « E », à savoir; « *Economie*", « *Efficacité* » et « *Efficience* ». Un rôle particulier se trouve dévolu à l'Etat, qui est celui de savoir comment organiser un Etat-minimal qui soit en même temps un Etat-organisateur et un Etat-stratège [36]. Cet Etat minimal selon l'auteur, doit en particulier créer des conditions de la fluidité du marché en appliquant les catégories à lui-même, le développement des organisations étant considéré comme la preuve matérielle du développement des sociétés.

Avec le *New Public Management,* il y a donc passage du « *Welfare State »* à l'Etat-organisateur dont la flexibilité et l'efficience sont alors considérées selon [36] comme de métonymiques de l'efficience de la « société d'entreprises ». Les dispositifs du *NPM* ont pour finalité la recherche d'amélioration de la performance publique grâce à cinq axes. Ces axes se résument selon [37] à la planification stratégique, au management participatif, au management de la qualité, à l'introduction des technologies de l'information et de communication et au contrôle de gestion. Le *NPM* a donc pour ambition d'assurer l'articulation entre les *Missions Statement* (les buts généraux du service concerné) et des principes de fonctionnement des organisations idéales [37].

4.5 CONTRIBUTION DE NEW PUBLIC MANAGEMENT À LA GESTION DE LA CHOSE PUBLIQUE

Les évolutions connues au sein de la gestion publique ont amené des changements considérables ces dernières décennies. Le point pertinent à mettre en avant est surtout le fait que le *NPM* a forcé les administrations publiques à changer leur mode de fonctionnement et de gestion. Le *NPM* appelé également, Nouvelle Gestion Publique (NGP) ambitionne de faire passer le secteur public du modèle de la bureaucratie wébérienne, longtemps apparue comme la seule forme organisationnelle [38]. Ce modèle de gestion ayant rôle de réprimer la corruption et autres formes de favoritisme grâce à un ensemble de règles et de procédures trop lourdes et jugées inefficaces. Alors que le NPM se vante à des modèles organisationnels plus hybrides qualifiés de post bureaucratiques [39]. L'idéal-type de la bureaucratie selon [40] se base sur la rationalisation dont elle a atteint ses limites.

En effet, Certaines caractéristiques de la bureaucratie pouvaient amener à dire qu'elle constituait un système parfait. C'est-à-dire que des règles et des lois formées de manière rationnelle régissaient le mode de fonctionnement des administrations [41]. Premièrement, ces règles et lois permettaient aux secteurs publics de s'adapter aux juridictions officielles. Deuxièmement, la nomination d'une autorité ayant pour compétence de diriger de manière stable semble limitée par ces règles. Troisièmement, les droits et obligations des employés étaient définis de façon systématique et prévus exclusivement aux personnes ayant les qualifications prédéfinies pour les suivre et les remplir. Par conséquent, la connaissance par tous les

[6]O. Hughes, *Public Management and Administration : an Introduction*, Palgrave MacMillan, Basingstoke, 2003
[7] M. Power, *La société de l'audit : l'obsession du contrôle*, Editions La Découverte, Paris, 2004

employés et la clarté liée à ces règles sont des éléments indispensables. C'est ainsi que les fonctionnaires agissent selon ces règles et lois, du vouloir du chef ou d'autres principes de nature externe à celles-ci et non pas en considération de la clientèle.

5 CONCLUSION

En nous appuyant sur la source de la performance, la littérature admet que le NPM vise en général à rendre les organisations publiques plus rentables pouvant garantir l'intérêt général. Le NPM permettra à ces dernières de réaliser et maintenir une meilleure gestion de compétence et des deniers publics, puis réussir l'élaboration et l'exécution des politiques publiques, afin d'assurer la prise décisions qui s'imposent. Dans la pratique, le secteur public a comme indicateur de la performance, la qualité des services offerts aux usagers, qui se traduit par le couple « efficacité - efficience ». Le NPM conduit donc à l'instauration des modalités de gestion des ressources humaines, l'organisation interne et l'élaboration des plannings. En effet, plusieurs recherches estiment que l'adoption du NPM contribue largement à l'amélioration des services publics rendus aux citoyens, à travers notamment une bonne planification, une meilleure gestion des ressources humaines et de performance budgétaire grâce au contrôle et surveillance accrue qui favorise la communication et le partage des informations avec le citoyen.

La qualité des services publics parait déterminante pour l'ensemble des organisations et dépend principalement des ressources mis à la disposition (ressources humaines, matérielles, techniques, technologiques,...) qui permettent d'atteindre les résultats souhaités. Des chercheurs soutiennent que les organisations publiques usitant du NPM en pratiquant des méthodes relationnelles et transcendantes avaient des résultats plus meilleurs que celles qui faisaient preuve de la bureaucratie. Cette relation qui, selon les théories présentées, est positive et confirmée au moyen d'une étude qualitative qui a pour but de vérifier ces interdépendances entre les différentes variables du modèle proposé au sein des organisations publiques.

REFERENCES

[1] Charreaux G. (1997), L'entreprise publique est-elle nécessairement moins efficace, CREGO/ LATEC, p. 29

[2] Bozec, R. (2004), L'analyse comparative de la performance entre les entreprises publiques et les entreprises privées: le problème de mesure et son impact sur les résultats. L'Actualité économique, 80 (4), 619–654. https://doi.org/10.7202/012130a.

[3] Bartoli A. et al., (2015), Management dans les organisations publiques – Défis et logiques d'action (4e éd). Dunod.

[4] '4] Mazouz, B. et al. (2015). Le gestionnaire public en question: La difficile conciliation des logiques bureaucratique et managériale. Revue Française de Gestion, 89-104,111-112.

[5] V.-M. Santo et P.-E. Verrier (1997), Que sais-je le Management Public, Presses universitaires de France, 2 e édition: 1997, Paris, p5-7.

[6] Pesqueux. Y. 2020 New Public Management (NPM) et Nouvelle Gestion Publique (NGP) THESE DE DOCTORAT.

[7] Pesqueux, Y. (2010) 'Le « nouveau management public » (ou New Public Management) ', pp. 1–11.

[8] Emilie soufflet et olivier keramidas (2010), De la compétence vers le talent managérial: Le sens collectif de la performance publique », Institut de Management Public et de Gouvernance Territoriale, http://medeu.org/documents/med3/ souffletkeramidas.pdf

[9] Gangloff F. (2009), Le Nouveau Management Public et Bureaucratie professionnelle, La place de la dimension européenne dans la Comptabilité et Contrôle Audit, May.

[10] Osborne S.P. (2006), The New Public Governance?, Public Management Review, vol. 8-3, pp. 377-387.

[11] Osborne S. P. (2017), From public service-dominant logic to public service logic: are public service organizations capable of co-production and value co-creation? Public Management Review, vol.20, n°2, pp.225-231.

[12] Bartoli, A. & Hervé, C. (2011), Le développement du management dans les services publics: évolution ou révolution ?, informations sociales, 167 (5), 24-35.

[13] Amar, A., Berthier L. (2007), Le nouveau management public: avantages et limites, Revue du Recemap, Décembre, p 7.

[14] Hassani. K. & El Moussalli N. (2020), Le New Public Management: quels enjeux pour le système de santé publique au Maroc ?, Revue Internationale des Sciences de Gestion « Numéro 6 / Volume 3: numéro 1 » pp: 454 - 474.

[15] Bartoli (2005), Le management dans les organisations publiques. Dunod.

[16] Pollitt, C. et Bouckaert, G. (2004). Public management reform: A comparative analysis. Oxford University Press, USA.

[17] Bèzes P. (2005), Le renouveau du contrôle des bureaucraties: L'impact du New Public Management, Informations sociales, 126 (6), 26-37.

[18] URIO, P. (1998), La gestion publique au service du marché. in M. Hufty (éds), La pensée comptable: État, néolibéralisme, nouvelle gestion publique, PUF et Les nouveaux Cahiers de l'IUED, Paris et Genève, pp.91-124.

[19] Pupion, pc. et Chappoz, y., (2015), L'outil de gestion au service du NPM, revue Gestion et management public, volume 4, n°1, pp. 1-2.
[20] Gardere É., (2012), Institution communicante et nouveau management public, Communication et organisation, n° 41, p30.
[21] Crozier M. (1991), Le changement dans les organisations, Revue française d'administration publique No 53.
[22] Bernier L. (1989), La dynamique institutionnelle des entreprises publiques au Québec de 1960 à aujourd'hui, Politiques et management public, N° 7, 95-111.
[23] Bauby. P (2016), Service public, Services publics, paris, La Documentation Française, 2ème éd.
[24] Bureau D. (1997), La gestion des entreprises publiques, Document du travail N° 97-5; Direction de la prévision- MEFI; p 21.
[25] Chatillon, E.A et Desmarais, C. (2012). Le Nouveau Management Public est-il pathogène ? Management international: La transformation des organisations publiques. 16 (3), 10–24.
[26] Mazzine.M et al. (2023), La managérialisation de l'État vers une nouvelle gestion publique», Revue Française d'Economie et de Gestion «Volume 4: Numéro 5«, pp: 482- 507.
[27] Charih. M, Lendry. R (1997), Politiques et management public: L'heure des remises en question. 214 pages.
[28] Varonne F. et Jacob S. (2004), Institutionnalisation de l'évaluation et nouvelle gestion publique: un état des lieux comparatif, Revue internationale de politique comparée 2004/2 (Vol. 11), p. 271-292.
[29] Elmouissia I., (2020), Les réformes publiques inspirées du New Public Management au Maroc: Entre mythes et réalités, Revue Internationale des Sciences de Gestion « Volume 3: Numéro 2» pp: 1339 – 1363.
[30] Dridat M. et Rgubi K. (2021), L'impact du leadership sur le New Public Management (NPM) et le renforcement de la qualité des services publics au sein des organisations publiques: Revue de littérature, Revue Française d'Economie et de Gestion «Volume 2: Numéro 12 » pp: 417 - 443.
[31] Djouldem M. (2005), Rhétoriques, controverses et incertitudes dans la conduite de la modernisation de l'action publique; Actes du colloque International « Le Changement dans l'administration », Revue de l'école Nationale de l'Administration N° 25, 2003, Centre de documentation et de recherches administratives, Alger, p75.
[32] Farrat o. et hajji.z. (2022) « Sijilmassi Idrissi. S (2022), Le New public management comme voie de transformation vers la bonne gouvernance: Comparaison entre les pays de l'Afrique et les pays Nordiques », Revue African Scientific Journal, Volume 3, Numéro 10, pp: 204-226.
[33] Alford J. et Hughes O. (2008), Public value pragmatism as the next phase of public Management, *American review* of public Administration, vol 38, N°2, PP. 30-148.
[34] Bartiche, S. et Erraoui, E. H. 2021), Le Nouveau Management Public: outil de performance des organisations publiques. International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics, 2 (6-1), 227-246.
[35] Bentaja.A et Assalih.H (2022), Le nouveau management public: Levier de performance des établissements publics, African Scientific Journal « Volume 03, Numéro 11 » pp: 537-552.
[36] Bennaoum Abdellatif (2021), « Les Fondement et les principes Du Nouveau Management Public 'NMP'; Une nouvelle approche pour les administrations publiques en Algérie«, Journal d'études en économie et Management ISSN: 2602-6570 Volume 04 Numéro 01 – Juin 2021.
[37] Mazouz B. et Hudon P.-H., (2014), Le management public entre « tensions de gouvernance publique » et « obligation de résultats: Vers une explication de la pluralité du mana- 5 gement public par la diversité des systèmes de gouvernance publique, Gestion et management public, 4, 3, 2, 7-22.
[38] Belaraj. A et Okassi M., (2020), Le Nouveau Management Public: Vers une bonne gouvernance des Etablissements Publics, Revue du contrôle, de la comptabilité et de l'audit « Volume 4: numéro 3» pp: 96- 122.
[39] Hood, C. (1991). Public Management for All Seasons. Public Administration, 69 (1), 3-19 https://doi.org/10.1111/j.1467-9299.1991.tb00779.x.
[40] Albert A. (2013). Management et nouvelle gestion publique: limites et paradoxes de l'imitation du privé. La nouvelle revue du travail, (2).
[41] Emery Y. et Giauque, D. (2005). Emploi dans les secteurs public et privé: vers un processus confus d'hybridation. Revue internationale des sciences administratives, 71 (4), 681-699.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1168-1174
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analysis of the current intensity in each rotor bar of a squirrel cage induction motor: Case of a broken bar

Alexandre N'GUESSAN, Serge Mouroufié ADOU, and Abé Simon YAPI

Science and technology department, Laboratory of Technology (Lab-Tech), Félix Houphouët-Boigny University, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In view of the importance of squirrel cage induction machines in industrial applications, effective methods are needed to detect faults that could disrupt their operation. Despite their robustness, squirrel cage induction motors are subject to some faults, such as the broken bar. Current is one of the most widely used parameters for diagnosing squirrel cage induction motors. In most cases, however, the Motor Current Signature Analysis (MCSA) method is used. However, in the specific case of a broken bar, analysis of the current intensity in each rotor bar enables precise detection of a broken bar. The present work analyzes the evolution of the current intensity in each rotor bars in the case of a healthy rotor and in the presence of a broken bar. The current intensity in the rotor bar is strongly impacted, with a greatly reduced current. This situation also leads to a distribution of current intensity in the neighboring bars. As a result, the intensity of the current flowing through these bars increases according to their proximity to the faulty bar.

KEYWORDS: induction machine, rotor faults, diagnostic, rotor current, electrical system.

1 INTRODUCTION

The reliability of electrical systems, particularly in industry, is a major issue for service continuity [1], [2]. The squirrel cage induction machine is the type most commonly used in such systems [3], [4], [5]. In this type of machine, the rotor windings are replaced by conductor bars short-circuited at each end by short-circuit rings. Despite their robustness, squirrel cage induction motors are subject to several types of faults, including rotor faults in the electrical circuits [6], [7], [8]. The most commonly encountered faults are: partial or total breaking a short-circuit ring, partial or total broken bar. These faults are due to an accumulation of defects caused by certain stresses, notably electrical, mechanical, thermal and environmental. Fig. 1 shows the two main rotor faults of a squirrel cage induction machine.

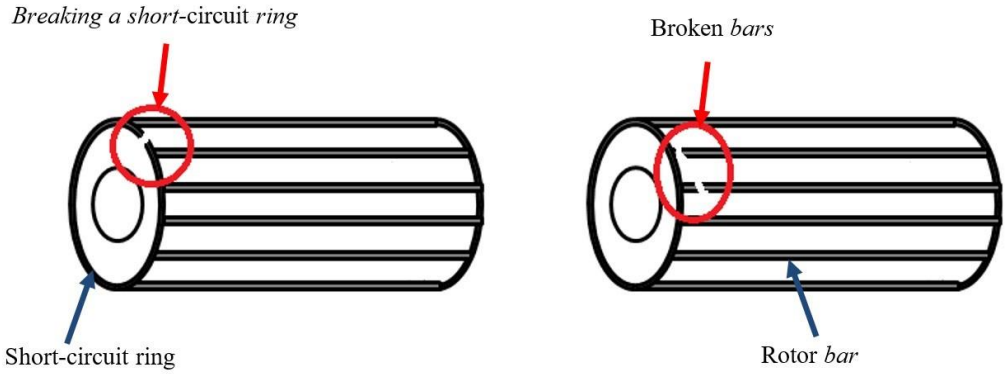


Fig. 1. Broken bars (circled in red) of the squirrel cage rotor

To anticipate the disastrous consequences of these faults, it is necessary to implement effective methods for early detection of this type of fault, which can disrupt the operation of these machines [9], [10]. The Motor Current Signature Analysis (MCSA) method is the most widely used method [11], [12], [13]. However, good results can also be obtained using other methods.

The aim of this article is to present the impact of a broken bar on rotor bar current. Results are presented for a squirrel cage induction motor operating with a healthy rotor, as well as for squirrel cage induction motor operating with a broken bar.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 ROTOR CAGE CIRCUIT

The rotor is made up of N_b rotor bars. The rotor can therefore be broken down into (N_b+1) independent electrical circuits. Each circuit is delimited by the two adjacent bars and the two short-circuit rings. One of the short-circuit rings creates an additional loop, bringing the number of electrical circuits to (N_b+1). Each electrical circuit is studied independently of the others, with a current flowing through it. There are therefore (N_b+1) rotor currents. Bars and short-circuit rings are represented by a resistor in series with an inductor. The rotor of the squirrel cage induction motor can be represented as shown in Fig. 2 [5], [9], [19].

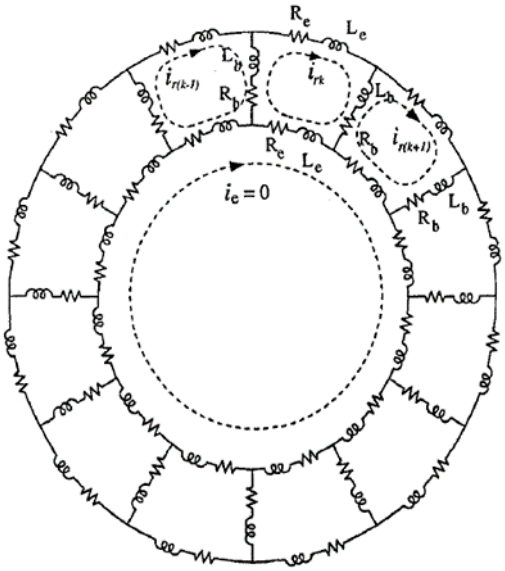


Fig. 2. Rotor of the squirrel cage induction motor

2.2 ROTOR MESH

The rotor of a squirrel cage induction motor can be represented by electrically interconnected and magnetically coupled meshes. A mesh is delimited by two bars and two short-circuit ring segments. Fig. 3 [5], [14], [15], [16], [17], [18], [19], shows a rotor mesh formed by two adjacent rotor bars (k and k-1) and the short-circuit rings.

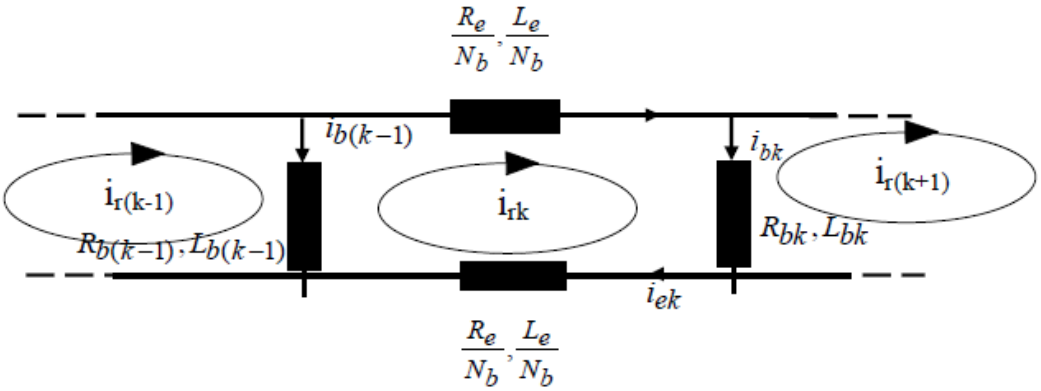


Fig. 3. Electric diagram equivalent of a rotor mesh

2.3 MODEL WITH BROKEN BAR

We can model the broken bar by cancelling the current flowing through it, even though several physical phenomena come into play during such a fault [14]. Fig. 4 [14] below shows a portion of the rotor cage with a broken bar.

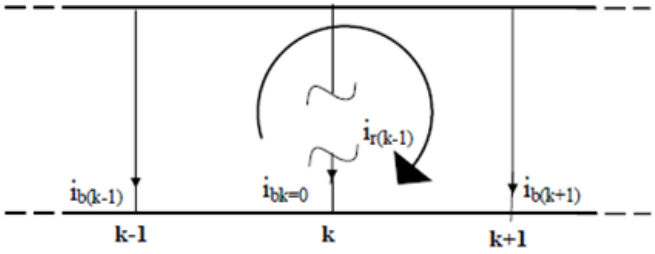


Fig. 4. Electric diagram of a rotor cage with a broken bar

Two approaches can be taken into account in this type of simulation. The first approach consists in reconstructing the rotor electrical circuit: the matrices are completely rebuilt. The order of the system is reduced and the current in the broken bar is entirely suppressed, while the current in the adjacent bars increases. This results in the addition of the two columns and rows related to the fault cur-rent.

The second approach is to increase the resistance value of the faulted bar sufficiently so that the current flowing through the bar in question is practically zero. In this second case, the self and mutual inductance matrices remain unchanged. This approach, which allows the simulation of partially broken bars, is more convenient and more realistic.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 HEALTHY ROTOR

At no load, the current in the rotor bars is practically zero. Under load, current intensity increases uniformly in all bars. Fig. 5 shows the maximum currents in the rotor bars for a healthy bar, from bar 1 to bar 26.

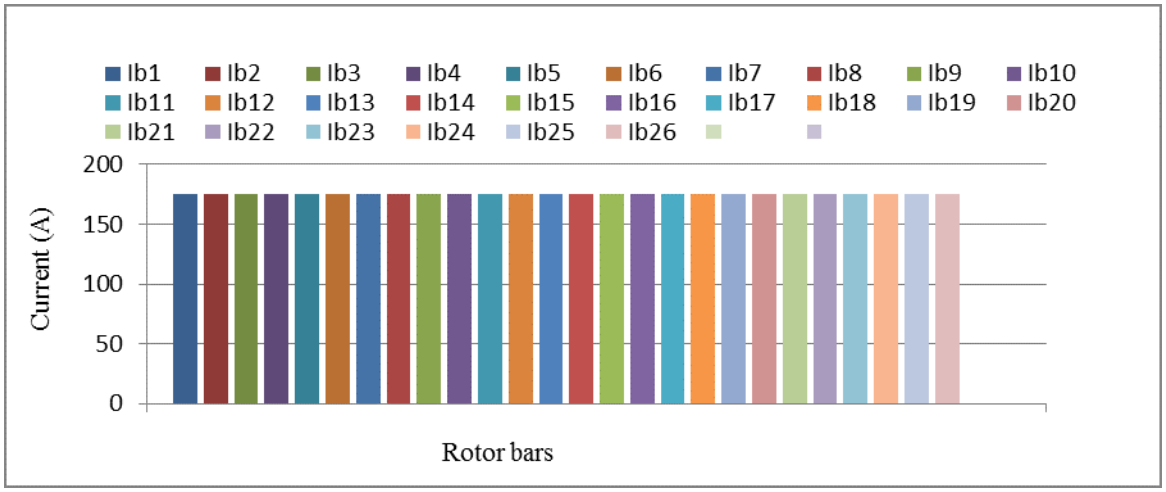


Fig. 5. Maximum currents in rotor bars (case of a healthy rotor)

3.2 ROTOR WITH A BROKEN BAR

In the presence of a broken bar, the currents in the various bars are no longer equal. They vary according to the position of the offending bar. The presence of a broken bar induces to overcurrent in the neighboring bars and a considerable reduction (close to zero) in the current intensity in the faulted bar (bar 12). Fig. 6 shows the maximum currents in the rotor bars in the event of a broken bar, from bar 1 to bar 26.

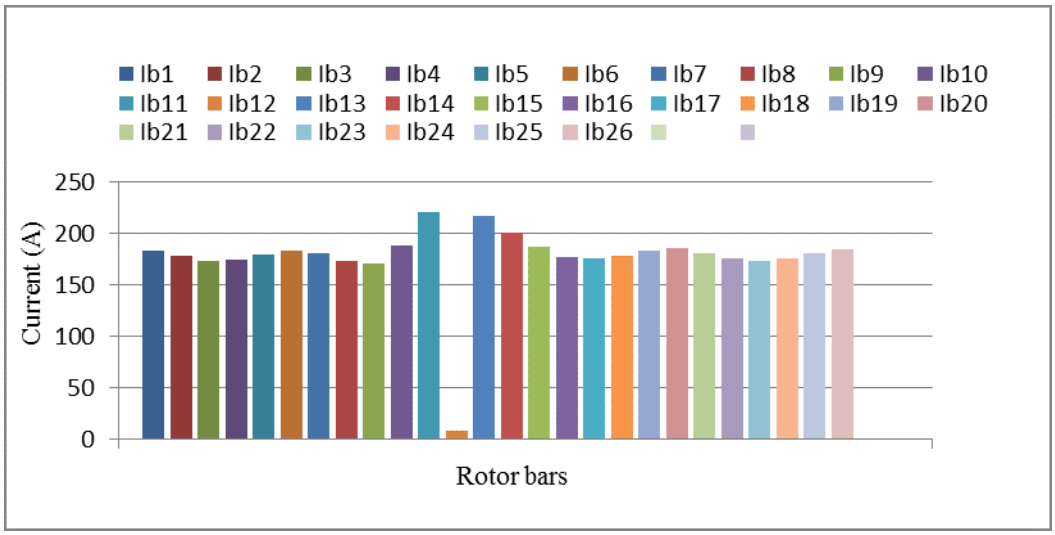


Fig. 6. Maximum currents in rotor bars following a broken bar (bar 12)

3.3 Rotor With Two Non-Adjacent Broken Bars

In the case of two non-adjacent broken bars, the currents in the different bars are not equal. They vary according to the position of the offending bars. The presence of two broken bars leads to an overcurrent in the adjacent bars and a considerable reduction (close to zero) in the current in the faulted bars (bars 12 and 17). Fig. 7 shows the maximum currents in the rotor bars in the event of a broken bar, from bar 1 to bar 26.

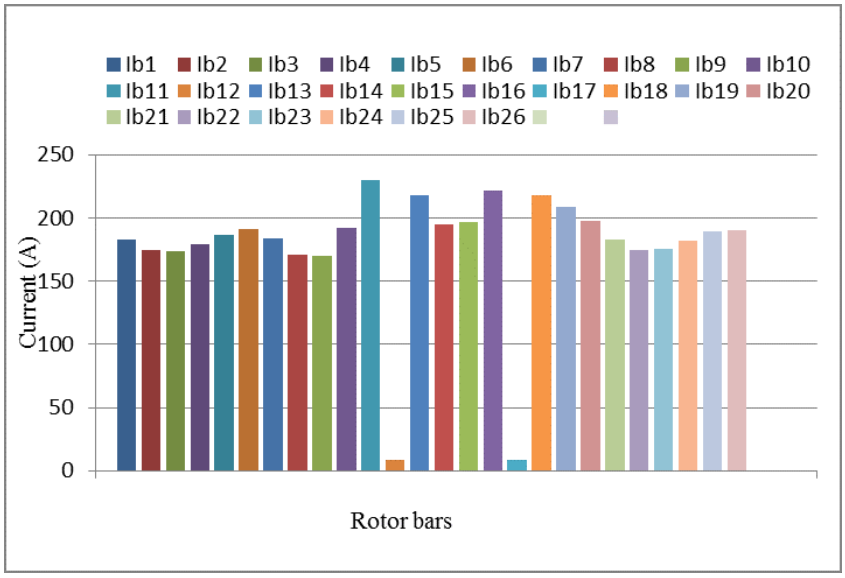


Fig. 7. Maximum currents in rotor bars following breakage of two non-adjacent rotor bars (bars 12 and 17)

3.4 Rotor With Two Adjacent Broken Bars

In the case of two adjacent broken bars, the currents in the different bars also vary according to the position of the offending bars. The presence of two adjacent broken bars leads to an overcurrent in the adjacent bars and a considerable reduction (close to zero) of the current in the faulted bars (bars 12 and 13). Fig. 8 shows the maximum currents in the rotor bars in the event of a broken bar, from bar 1 to bar 26.

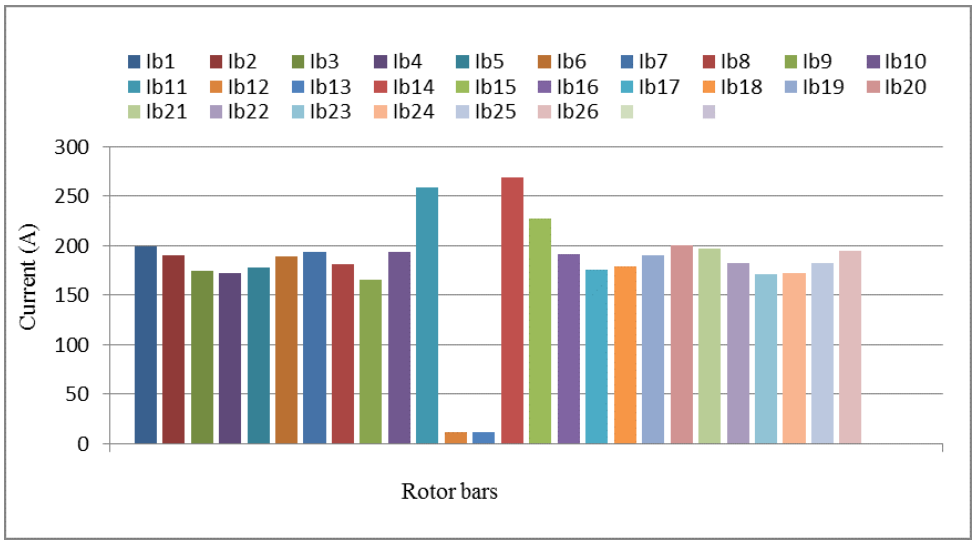


Fig. 8. Maximum currents in rotor bars following breakage of two adjacent rotor bars (bars 12 and 13)

3.5 Evolution Of Current Intensity

The current intensity in a rotor bar observes a transient regime before being cancelled out, as the motor runs at no load until 1s. Between 1s and 2s, a load with a torque of 10 N.m is applied to the motor. Oscillations due to the torque applied are observed at t=1s, leading to a maximum current of over 150 A, as shown in Figure 9. After the broken bar at t=2s, the current value drops sharply to around 11 A. A broken bar considerably reduces the current in the faulted bar. At t=3s, a second non-adjacent bar is broken, causing a very slight increase in bar current to 16 A. Fig. 9 shows the evolution of current intensity in a bar following a broken bar fault.

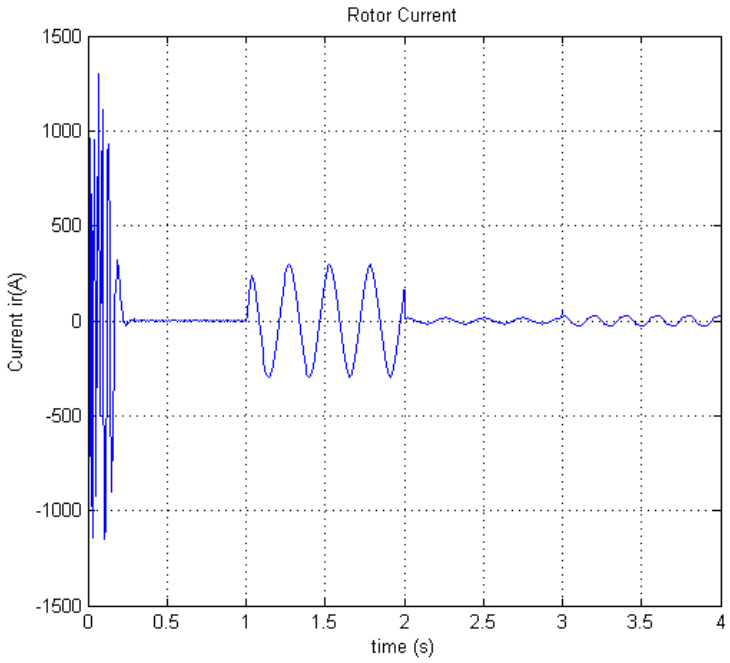


Fig. 9. Evolution of current intensity in a rotor bar

4 Conclusion

The aim of this article is to study the evolution of current intensity in each rotor bar for a healthy rotor and a rotor with a broken bar. First, the methodology used in this study was presented. Then, the various faults experienced by the squirrel cage induction motor at rotor level were studied. The broken bar is the one that has been particularly scrutinized since the study focuses on this fault. Finally, results showing the impact of a broken bar on the current intensity in each rotor bar were presented.

The results show that a broken bar drive to a considerable reduction in the current in the faulted bar, and a distribution of the current to the other bars, resulting in an increase in the current in the latter. This increase in current in the other bars is not uniform. Neighboring bars a greater increase than those further away. By analyzing the current in each rotor bar of a squirrel cage induction motor, a broken bar can be detected. The greatest difficulty lies in the difficult accessibility of the machine's rotor bars.

NOMENCLATURE

R_b	Rotor bar resistance	L_e/N_b	Leakage inductance of short-circuit ring segment between two adjacent rotor bars
L_b	Leakage inductance of rotor bar	i_{rk}	Mesh current
R_e	Resistance of rotor shot-circuit ring	i_{bk}	branch current
R_e/N_b	Resistance of short-circuit ring segment between two adjacent rotor bars	i_{re}	Short-circuit ring current
L_e	Leakage inductance of short-circuit ring rotor bar		

APPENDIX

Parameters	**Rated values**	**Unit (SI)**
Output power	1500	W
Nominal voltage	230/400	V
Frequency	50	Hz
Inertia	17.9×10^{-3}	$Kg.m^2$
Number of rotor bars	26	
Number of turns per stator phase	367	
Number of pair of pole	2	
Leakage inductance of rotor short-circuit ring	0.5033×10^{-6}	H
Rotor bar leakage inductance	0.5033×10^{-6}	H
Rotor bar resistance	80.67×10^{-6}	Ω
Resistance of rotor short-circuit ring	80.67×10^{-6}	Ω
Resistance of the windings per stator phase	4.19	Ω
Friction coefficient	4.23×10^{-3}	$N.m.s^2$
Cyclic inductance of the stator	16.7×10^{-3}	H
Mutual stator-rotor inductance	1.1226×10^{-6}	H

REFERENCES

[1] Romary, R., Thailly, D., Brudny, J.-F., and all, «Diagnostic de machines électriques par analyse du champ magnétique de dispersion», Revue de l'Électricité et de l'Électronique (REE), no. 11, pp. 49-62, 2006.

[2] Movuela, M., R., «Apport de bruit de fond dans la détection des défauts dans le moteur asynchrone», International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 27, no. 1, pp. 190-201, 2006.

[3] Bhowmik, P., S., «Fault diagnostic and monitoring methods of induction motor: A review», International Journal of Applied Control, Electrical and Electronics Engineering (IJACEEE), vol. 1, no. 1, pp. 1-18, 2013.

[4] Blodt, M., Granjon, P., Raison, B., and Rostaing, G., «Models for Bearing Damage Detection in Induction Motors Using Stator Current Monitoring», IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 55, no. 4, pp. 1813 – 1822, 2008.

[5] Chouidira, I., Khodja, D., E., and Benguesnia, H., «Detection and diagnostic fault in machine asynchronous based on single processing», International Journal of Energetica (IJECA), vol. 4, no. 1, pp. 11-16, 2019.

[6] Siddiqui, K., M., Sahay, K., and Giri, V., K., «Health Monitoring and Fault Diagnosis in Induction Motor- A Review», International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (IJAREEIE), vol. 3, no. 1, pp. 6549-6565, 2014.

[7] Menacer, A., Champenois, G., Saïd, M., S., N., Benakeha, A., Moreau S., and Hassaine, S., «Rotor failures diagnosis of squirrel cage induction motors with different supplying sources», Journal of Electrical engineering & Technology, vol. 4, no. 2, pp. 219-228, 2009.

[8] Pusca, R., Romary, R., Fireteanu, V., and Ceban, A., «Finite element analysis and experimental study of the near-magnetic field for detection of rotor faults in induction motors», Progress In Electromagnetics Research B., no. 50, pp. 37-59, 2013.

[9] Lachitar, S., Ghozzal, A., Koussa, K., and all, «Broken rotor bar fault diagnostic for DTC fed induction motor using stator instantaneous complex apparent power envelope signature analysis», International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), vol. 10, no. 3, pp. 1187-1196, 2019.

[10] Sanap, K., R., Paraskar, S., R., and Jadhao, S., S., «Broken rotor bar fault diagnosis of induction motor by signal processing techniques», International journal of electrical engineering & technology (IJEET), vol. 8, no. 1, pp. 57-67, 2017.

[11] Mellakhi, A., Benouzza, N., and Bendiabdellah, A., «Analyse spectrale du courant statorique pour détecter les cassures de barres dans les moteurs asynchrones triphasés à cage en tenant compte des harmoniques d'espace», Nature et Technologie, no. 2, pp. 35- 40, 2010.

[12] Rigoni, M., Sadowski, N., Batistela, N., J., and Bastos, J., P., A., «Detection and analysis of rotor faults in induction motors by the measurement of the stray magnetic flux», Journal of Microwaves, optoelectronics and electromagnetic applications, vol. 11, no. 1, pp. 68-80, 2012.

[13] Ceban, A., Pusca, R., and Romary, R., «Study of rotor faults in induction motors using external magnetic Field Analysis», IEEE Transactions on industrial Electronics, Vol. 59, No. 5, (2011), 2082-2093. https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2163285.

[14] Sahraoui, M., Zouzou, S., E., Menacer, A., Aboubou, A., et Derghal, A., «Diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés a cage, Partie II: Méthodes dédiées à la détection des cassures de barres dans les moteurs asynchrones triphasés a cage», Courrier du Savoir, No. 05, (2004), 57-61.

[15] Aboubou, A., Shraoui, M., Zouzou, S., and all, «Comparaison de trois techniques dédiées au diagnostic des défauts rotoriques dans les moteurs asynchrones triphasés à cage», Revue Internationale de Génie Électrique (RIGE), vol. 8, no. 3-4, pp. 557-576, 2005.

[16] Kechida, R., Menacer, A., and Benakcha, A., «Fault Detection of Broken Rotor Bars Using Stator Current Spectrum for the Direct Torque Control Induction Motor», World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 4, no. 66, pp. 1244-1249, 2010.

[17] Razik, H., «Le contenu spectral du courant absorbé par machine asynchrone en cas de défaillance, état de l'art» La revue 3EI, no. 29, pp. 48-52, 2002.

[18] Shi, P., Chen, Z., and Yuriv Bagapov, «Modeling and analysis of induction machines under broken rotor-bar failures» International Journal of Computer Applications, vol. 69, no. 14, pp. 28-35, 2013.

[19] Menacer, A., and Nait-Said, M., S., «Stator Current Analysis of incipient fault into Asynchronous motor rotor bars using Fourier fast transform, Journal of Electrical Engineering» vol. 55, no. 5-6, pp. 122-130, 2004.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1175-1191
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude du rôle du sel hydrosoluble fonctionnel « Bicarbon-Plus » à base de Bicarbonate de Sodium dans l'alimentation chez le diabétique

[Study of the role of the functional water-soluble salt « Bicarbon-Plus » formulated from sodium bicarbonate in diet of diabetics]

Adama Kamagate, Delorme Arsène Vivien Kouassi, Brou Ted Arnaud Boni, and N'Guessan Jean-Baptiste Oussou

Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée, UFR SN, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: One of the acute complications of diabetes is diabetic ketoacidosis characterized by an increase in blood acidity and the formation of ketone bodies which are toxic to the body. It is from this understanding that we evaluated the impact of the consumption of a functional water-soluble salt formulated from sodium bicarbonate «Bicarbon-Plus» in alloxan induced diabetic rats.
For this purpose, 4 batches of 8 rats of the *Wistar* strain were used. Anthropometric and biochemical parameters were accessed, as well as physiological tolerance.
Bicarbon-Plus significantly reduced blood sugar and ketone levels in diabetic rats. The lost of lot of weight was observed in the diabetic rats that did not received Bicarbon-Plus. An increase in HDL-C levels was observed from the 14th to the 36th day in diabetic rats that consumed the Bicarbon-Plus. The diabetic rats having consumed 0.250 mL/100 g of b.w. Bicarbon-Plus, the ALT level decreased significantly, and the AST level was not significant compared to the diabetic control group. A decrease in creatine and urea levels was observed in diabetic rats that consumed Bicarbon-Plus. And diabetic rats that consumed Bicarbon-Plus have showed an extremely significant decrease in CRP levels, and an extremely significant increase in SOD levels.
So Bicarbon-Plus is alkalizing, lowers ketonemia, hypoglycemic, increases HDL-C, anti-inflammatory, antioxidant, hepatoprotective, nephroprotective, and protects the mass of the pancreas. It is safe, and could be recommended for the treatment of diabetes.

KEYWORDS: Diabetes, Diabetic ketoacidosis, Ketonemia, Sodium bicarbonate.

RESUME: Une des complications aiguës du diabète est l'acidocétose diabétique caractérisée par une élévation de l'acidité sanguine, et la formation de corps cétoniques qui sont toxiques pour l'organisme. C'est fort de ce constat qu'on a évalué l'impact de la consommation d'un sel hydrosoluble fonctionnel à base de bicarbonate de sodium « Bicarbon-Plus » chez les rats rendus diabétiques à l'alloxane.
Pour cette étude 4 lots de 8 rats de la souche *Wistar* ont été constitués. Les paramètres anthropométriques et biochimiques ont été évalués, ainsi que la bio tolérance.
Le Bicarbon-Plus a réduit significativement la glycémie et la cétonémie chez les rats diabétiques. Et les rats diabétiques n'ayant pas été traités ont perdu énormément du poids. Une augmentation du taux de HDL-C, a été observée chez rats diabétiques traités avec le Bicarbon-Plus lorsqu'on passe du 14^{e} au 36^{e} jour. Les rats diabétiques ayant reçu 0,250 mL/100 g de p.c. de Bicarbon-Plus, le taux d'ALAT a diminué significativement, et le taux d'ASAT est non significative par rapport au lot témoin diabétique. Une baisse des taux de créatine et d'urée a été observée chez les rats diabétiques traités avec le Bicarbon-Plus. Et les rats diabétiques traités avec le Bicarbon-Plus présentent une diminution extrêmement significative du taux CRP, et une augmentation extrêmement significative du taux de SOD.
Donc le Bicarbon-Plus est alcalinisant, baisse la cétonémie, hypoglycémiant, augmente le HDL-C, anti inflammatoire, antioxydant, hépatoprotecteur, néphroprotecteur, et protège la masse du pancréas. Il est bio tolérant, et pourrait être préconisé pour le traitement du diabète.

MOTS-CLEFS: Diabète, Acidocétose diabétique, Cétonémie, Bicarbonate de sodium.

Corresponding Author: Adama Kamagate

1 INTRODUCTION

L'industrialisation et la mondialisation ont affecté négativement l'état nutritionnel des populations conduisant ainsi à l'apparition des maladies cardiovasculaires (MCV) et certaines maladies chroniques [1]. Une quantité élevée de lipides alimentaires constitue un facteur de risque important de la survenue d'obésité **[2],** de maladies cardiovasculaires [3], [4], de dyslipidémie, de stéatose hépatique et de nombreuses autres pathologies [3], [5]. La dyslipidémie est quant à elle aussi impliquée dans plusieurs pathologies: on peut citer les maladies cardio-vasculaires 30,8% [6], l'hypertension artérielle, l'insuffisance rénal, l'obésité, le diabète 47,4% [7]. Elle se traduit par une anomalie des taux lipidiques dans le sang. Elle est associée à un taux élevé de LDL-cholestérol, appelé "mauvais cholestérol", et un faible taux de HDL-cholestérol, appelé "bon cholestérol" [8].

Le diabète est une maladie chronique grave, qui se déclare lorsque le pancréas ne produit pas suffisamment d'insuline ou lorsque l'organisme n'utilise pas correctement l'insuline produite par celui-ci [9]. Plus de 422 millions de personnes sont atteintes dans le monde et devrait croître à 643 millions de personnes d'ici 2030 [10]. Cette maladie engendre des complications aiguës et chroniques [11]. Parmi ces complications, figure l'acidocétose diabétique (ACD) qui est une décompensation métabolique sévère du diabète sucré, caractérisée par une hyperglycémie pouvant varier de 11 mmol/L à des valeurs extrêmes avec un pH artériel inférieur à 7,3. L'ACD est également caractérisée par un taux de bicarbonates plasmatiques inférieur à 15 mmol/L et une cétonémie ou cétonurie importante. Elle représente environ 4 à 9% des causes d'hospitalisation des diabétiques [12]. En Côte d'Ivoire, l'acidocétose est une cause d'hospitalisation des patients diabétiques insulinodépendants ou non. Elle représente 25 % de l'ensemble des complications du diabète avec une mortalité de 22,7 % [13].

En médecine moderne, pour prévenir la crise d'acidocétose chez le patient diabétique, le traitement peut être l'insulinothérapie. Mais avoir une bonne hygiène de vie permet d'éviter ces complications, à commencer par une alimentation équilibrée et la pratique régulière du sport. Un soutien médical de qualité permet de limiter le risque de crise d'acidocétose chez le patient diabétique [14]. Cela passe par l'administration de bicarbonate de sodium (NaHCO3) par voie intraveineuse. La plupart des auteurs conseillent d'administrer du bicarbonate de sodium que si le pH est inférieur ou égal à 7,1 ou si la réserve alcaline est inférieure ou égale à 5 mEq/L [15]. De plus, en solution de perfusion, le chlorure de sodium est une solution isotonique utilisée dans la prise en charge de la déshydratation et de la rééquilibration hydroélectrique du patient diabétique [16].

Fort de tout cela, une solution buvable à base de bicarbonate de sodium a été mise au point pour une meilleure prise en charge de l'acidocétose et d'autres complications du diabète. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer les effets de cette solution buvable composée de bicarbonate de sodium et de chlorure de sodium dans des proportions bien déterminées sur des rats rendus diabétiques avec l'alloxane. Ce qui a permis d'accéder aux paramètres anthropométriques et biochimiques. Cette étude a permis de montrer que la solution buvable à base de bicarbonate de sodium ou sel hydrosoluble fonctionnel Bicarbon (Bicarbon-Plus) a des propriétés plus entendues que lorsque le Bicarbonate de sodium est administré par voie intraveineuse sous forme de solutions injectables ou perfusables.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL ANIMAL

Des rats de l'espèce *Rattus norvegicus,* de souche *Wistar,* âgés de huit à neuf semaines, et pesant environ 100-200 g, ont été fournis par l'animalerie du Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée (Université Nangui Abrogoua). Ces animaux sont conservés dans des cages en plastique tapis de copeaux de bois servant de couchette. Les animaux, acclimatés pendant trois jours, avaient un accès libre à l'eau et à l'aliment (granulés fournis par la société IVOGRAIN d'Abidjan). L'animalerie est maintenue à la température de 25 ± 3°C, et un cycle lumière /obscurité de 12 heures. Ces rats ont été utilisés pour les études pharmacologiques sur la glycémie, la cétonémie, les paramètres anthropométriques et biochimiques, et pour la biométrie des organes.

Tous les protocoles expérimentaux sont conduits conformément à la directive Européenne du 24 Novembre 1986 (86/606/EEC) relatives à l'usage des animaux d'expérimentation dans la recherche [17].

2.2 INDUCTION DE DIABÈTE EXPÉRIMENTAL

La méthode utilisée est comme dans [18**]** avec une légère modification. Des rats normoglycémiques des deux sexes ont été mis à jeûn pendant 8 heures et rendus diabétiques par administration intrapéritonéale de la dose de 200 mg/kg de p.c d'alloxane (AK Scientific, USA), dilué dans du Chlorure de sodium (NaCl, 0,9%). Du glucose anhydre (Sigma, USA) a été administré aux rats à la dose de 10 g/kg de p.c afin de les stabiliser et d'atténuer l'effet oxydant de l'alloxane. Après trois jours, la glycémie a été déterminée et seuls les rats ayant une glycémie au-delà de 200 mg/dL ont été sélectionnés pour la suite de l'expérimentation. Ces rats sélectionnés ont été suivis par la mesure de la glycémie, la cétonémie et la mesure des paramètres anthropométriques et biochimiques.

2.3 ANIMAUX ET PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Ces recherches ont été conduites sur trente deux (32) rats de souche *Wistar* âgés de huit à neuf semaines, et pesant environ 100-200 g composés de mâles et de femelles répartis au hasard en quatre lots de huit (8) rats pour les quatre types de traitements pharmacologiques. Le lot 1, rats témoins normoglycémiques recevant un régime standard supplémenté de 10% d'huile de palme brute et de l'eau distillée. Le lot 2, rats témoins diabétiques recevant un régime standard supplémenté de 10% d'huile de palme brute et de l'eau distillée. Le lot 3, rats expérimentaux diabétiques recevant un régime standard supplémenté de 10% d'huile de palme brute et 0,250 ml/100 g de p.c. de la solution de sel hydrosoluble fonctionnel Bicarbon (Bicarbon-Plus). Le lot 4, rats expérimentaux diabétiques recevant un régime standard supplémenté de 10% d'huile de palme brute et de l'eau distillée, 2 ml/100 g de p.c. de la solution de sel hydrosoluble fonctionnel Bicarbon (Bicarbon-Plus). La solution a été administrée par voie orale (gavage), le volume a été prélevé en fonction du poids des rats. La solution buvable a été consommée du jour 0 (J0) au jour 14 (J14) et du jour 22 au jour 36 (J36).

Toutes les expériences ont été menées conformément à la directive européenne du 24 novembre 1986 (86/609/EEC) concernant l'usage des animaux d'expérimentation dans la recherche [17].

2.4 LE SEL HYDROSOLUBLE FONCTIONNEL BICARBON (BICARBON-PLUS)

Le Bicarbon-Plus est un sel naturel et liquide, et produit à base de bicarbonate de sodium. Contient des minéraux de grade alimentaire tels que le bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$), le chlorure de sodium (NaCl) dans des proportions bien déterminées. Sans conservateur, ni colorant. Le Bicarbon-Plus a été administré comme boisson. Il y a eu un dépôt d'enregistrement du nom « Bicarbon-Plus » auprès de l'Organisation Africaine de la Propriété Intellectuelle (OAPI).

2.5 PRÉLÈVEMENTS SANGUINS

Après 14 et 36 jours de traitement, les animaux mis à jeun la veille au soir, et anesthésiés le lendemain à l'aide de l'éther. Et ensuite, des prélèvements sanguins ont été réalisés au niveau du sinus rétro orbital de l'œil de chaque rat à l'aide d'une pipette Pasteur stérile [19].

Le sang a été recueilli dans des tubes secs qui sont mis dans une glacière contenant de la glace, puis acheminés au laboratoire urbain, « Espace Médical Anador », situé dans la commune d'Abobo, Abidjan, Côte d'Ivoire. Le sang est centrifugé à 3000 tr/min et le sérum obtenu a été conservé dans des tubes à –20°C pour le dosage des paramètres biochimiques.

2.6 MESURE DE LA GLYCÉMIE

L'évolution de la glycémie des rats des différents groupes a été contrôlée avant l'induction du diabète et trois jours après l'administration de l'alloxane. La glycémie a été par la suite évaluée chaque deux jours. Les prélèvements sanguins pour le dosage de la glycémie ont été effectués au niveau de la queue des rats. Après nettoyage de la queue à l'alcool (70%), les rats ont été piqués à l'aide d'une fine aiguille, une goutte de sang a été récupérée puis déposée sur une bandelette réactive pour lecture de la glycémie (Lecteur ACCU-CHEK Active, Roche, Germany).

2.7 MESURE DES CORPS CÉTONIQUE

L'évolution de la cétonémie des rats des différents lots sera contrôlée avant l'induction du diabète et trois jours après l'induction du diabète. La cétonémie est par la suite évaluée chaque deux jours. Les prélèvements sanguins pour le dosage de la cétonémie ont été effectués au niveau de la queue des rats. Après nettoyage de la queue à l'alcool (70%), les rats ont été piqués à l'aide d'une fine aiguille, une goutte de sang a été récupérée puis déposée sur une bandelette réactive pour lecture de la cétonémie (On.Call GK Dual, ACON Labs, USA).

2.8 MESURES DES PARAMÈTRES ANTHROPOMÉTRIQUES

Ces mesures anthropométriques ont consisté à mesurer le poids, la température, les quantités d'aliments et d'eau consommées par les rats chaque jour au cours de l'expérimentation.

2.9 ANALYSES BIOCHIMIQUES

L'analyse biochimique du sang a été effectuée au Laboratoire d'analyse biologique et médicale « Espace Médical Anador », situé dans la commune d'Abobo, Abidjan, Côte d'Ivoire. Les analyses biochimiques sont faites à partir du sérum. Les paramètres suivants ont été déterminés: Le cholestérol total (CT), le HDL-cholestérol (HDL-C), et les triglycérides (TG)), la créatine, l'urée, la protéine C réactive (CRP), la superoxide dismutase (SOD) et les transaminases alanine aminotransférase (ALAT), aspartate aminotransférase (ASAT).

2.10 MESURE DE LA MASSE RELATIVE DES ORGANES

Après 36 jours d'expérience, les animaux ont été pesés avant d'être sacrifiés, et les organes de chaque rat ont été prélevés soigneusement et pesés. Ce qui a permis de déterminer la masse relative (MR) du cœur, du foie, de l'estomac, du pancréas, de la rate, des poumons, des reins.

2.11 ANALYSES STATISTIQUES DES RÉSULTATS

L'analyse statistique des données est faite grâce au logiciel GraphPad Instat 3.01 (San Diego, Californie, USA). Les résultats sont donnés sous forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne (M ± SEM). La comparaison des moyennes a été effectuée par un test de l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA1) pour vérifier la normalité des variables. Lorsque des différences significatives sont révélées entre les moyennes testées, l'ANOVA1 est complétée par des comparaisons multiples des valeurs moyennes des différents paramètres en utilisant le test de Turkey-Kramer. Les différences sont considérées significatives à $P<0,05$, très significatives à $P<0,01$, extrêmement significatives à $P<0,001$, et très extrêmement significatives à $P<0,0001$.

3 RESULTATS

3.1 EFFET DU TRAITEMENT AU BICARBON-PLUS SUR LE GAIN DE POIDS CORPOREL, L'INDICE DE CONSOMMATION, L'INDICE D'HYDRATATION, ET LA TEMPERATURE CORPORELLE

Pour étudier l'effet du traitement au Bicarbon-Plus sur les paramètres anthropométriques, quatre (4) lots de rats ont été constitués. Les animaux ont été répartis de façon aléatoire de sorte à minimiser les différences entre poids initiaux des différents lots. Nous avons les lots témoins normoglycémique (Lot 1) et diabétique (Lot 2) qui ont été traités à l'eau distillée. Les lots expérimentaux ont quant à eux reçu soit 0,250 mL/100 g de p.c. (Lot 3), soit 2 mL/100 g de p.c. (Lot 4) de la solution de Bicarbon-Plus. **La Figure 1A** représente le gain de poids corporel en fonction des Jours. Le gain de poids corporel au 35^{e} jour pour les lots 1-4 est de 5,57 ± 0,32 g, -3,60 ± (-5,90) g, 5,2 ± 4,15 g et 5,14 ± 3,16 g, respectivement. Les animaux des lots témoin normoglycémique et expérimentaux ont des gains de poids positifs sur les 36 jours d'expérimentation, donc ils gagnent en poids. Alors que les animaux du lot témoin diabétique (lot 2) ont des gains de poids négatifs sur les 36 jours d'expérimentation, donc ils perdent en poids. Mais il n'y a pas de différences significatives entre les gains de poids des animaux des lots, témoin normoglycémique et expérimentaux au 35^{e} jour ($p>0, 05$). Par contre, il y a une différence significative entre les gains de poids des animaux des lots, lot témoin normoglycémique et lots expérimentaux et les animaux du lot témoin diabétique au 35^{e} jour ($p<0,01$). La **Figure 1B** représente l'indice de consommation en fonction des jours. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les rats des lots 1-4 en termes de consommation de l'aliment ($p>0,05$). Cela indique que les animaux ont mangé normalement. La **Figure 2A** représente l'indice d'hydratation en fonction des jours. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les rats des lots 1-4 en termes de consommation d'eau ($p>0,05$). Cela indique également que les animaux se sont hydratés convenablement. Ces résultats montrent que les animaux ont eu les mêmes apports exogènes en termes de consommation de l'aliment et de l'eau. On va donc chercher à comprendre ce qui se passe au niveau de ces animaux sur le plan du métabolisme. La **Figure 2B** représente la variation de la température corporelle des rats en fonction des jours. On constate que du début de l'expérimentations (J0) et à la fin (J36), les rats rendus diabétiques présentent une chute extrêmement significative de la température corporelle comparés aux rats du lot 1, témoin normoglycémique.

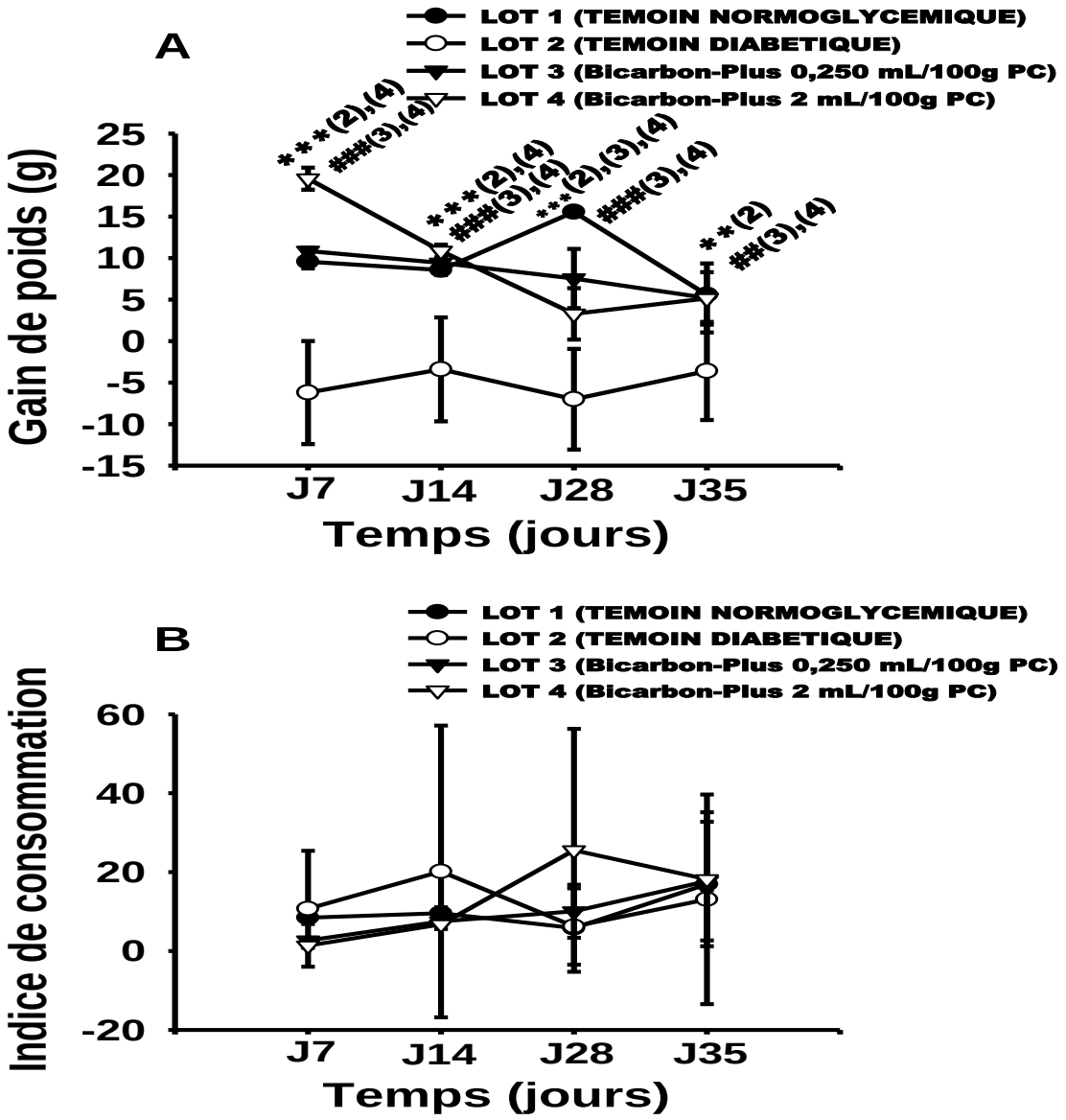


Fig. 1. Gain de poids et indice de consommation

*(A) Gain de poids, (B) Indice de consommation. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux. Les chiffres (1), (2), (3), (4) représentent les analyses statiques sur les lots 1-4, respectivement.*

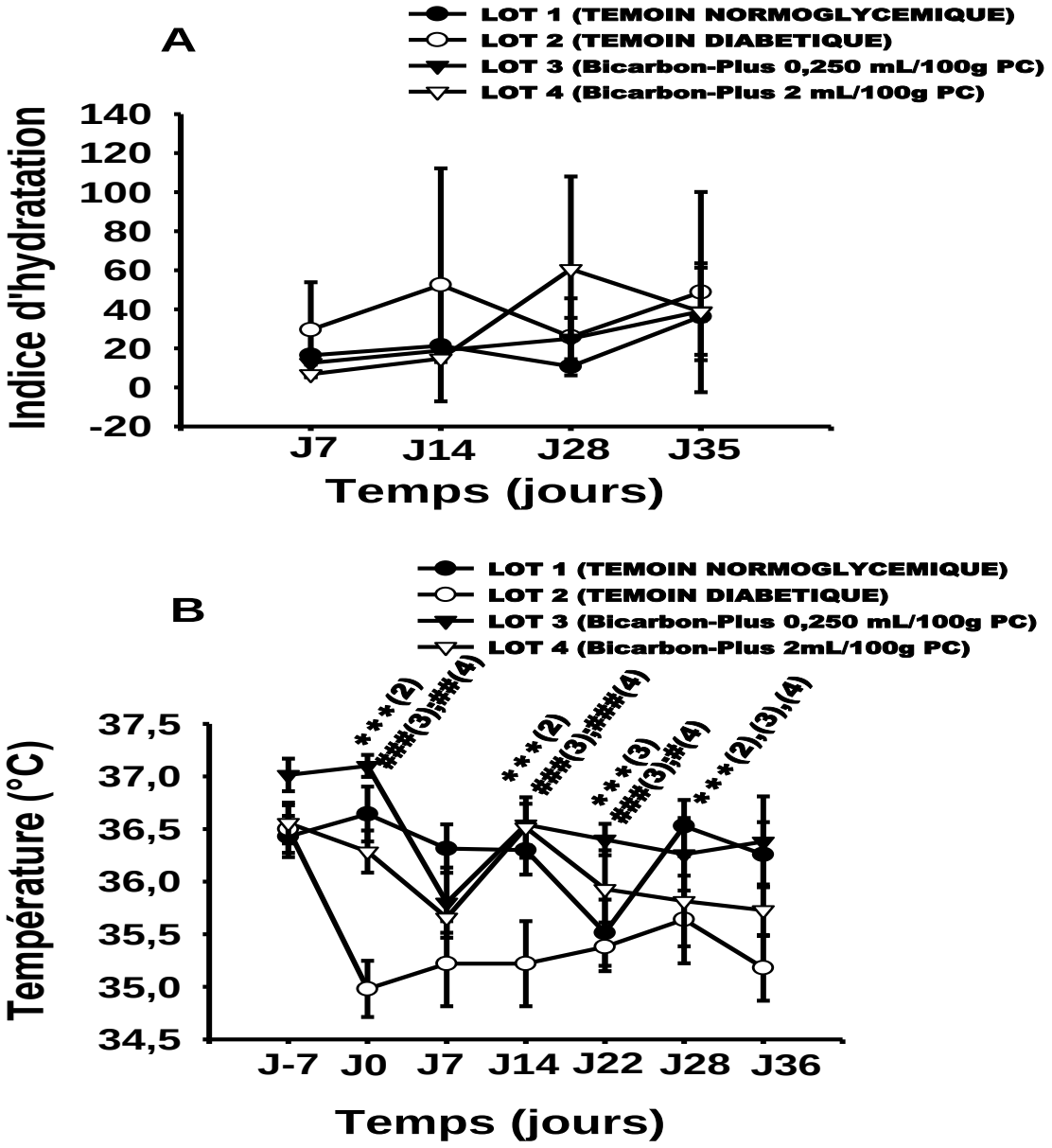


Fig. 2. Indice d'hydratation et température corporelle

*(A) Indice d'hydratation, (B) Température corporelle. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux. Les chiffres (1), (2), (3), (4) représentent les analyses statiques sur les lots 1-4, respectivement.*

3.2 EFFET DU TRAITEMENT AU BICARBON-PLUS SUR LA GLYCEMIE ET LA CETONEMIE

La glycémie et la cétonémie ont été évaluées chez l'ensemble des rats avant induction du diabète. Ensuite chez des rats normaux et diabétiques sur période de 36 jours. On distingue les lots témoins constitués de lot 1 témoin normoglycémique, et lot 2 témoin diabétique. On a également les lots 3 et 4 expérimentaux qui ont été rendus diabétiques. La **Figure 3A** représente la glycémie sur les 36 jours d'expérimentation. Avant l'induction du diabète, c'est-à-dire au J-7, il n'y a pas de différence significative entre les glycémies des différents lots de rats (P>0,05). Apres induction du diabète, les glycémies des rats diabétiques sont nettement supérieures à celles des rats sains (p<0,001). Elles sont de 85,00 ± 1,75 mg/dL, 186,20 ± 22,54 mg/dL, 194,86 ± 31,59 mg/dL, 247,29 ± 24,44 mg/dL pour les lots 1-4, respectivement. Au 14^{e} jour d'expérimentation, les glycémies des rats diabétiques ayant reçu la solution buvable sont devenues normales. Elles sont de 89,71 ± 2,20 mg/dL, 192,80 ± 20,39 mg/dL, 111,00 ± 7,22 mg/dL, 101,29 ± 9,28 mg/dL pour les lots 1-4, respectivement. Les lots 3 et 4, diabétiques traités ont une baisse extrêmement significative de leurs glycémies, comparés au lot 2

diabétique non traité (p<0,001). Il y a eu arrêt du traitement du 14e jour au 22e Jour, et reprise du traitement du 22e jour au 36e jour. Au 36e jour les glycémies des rats sont de 85,57 ± 2,09 mg/dL, 155,40 ± 14,16 mg/dL, 127,20 ± 9,55 mg/dL, 65,00 ± 5,01 mg/dL pour les lots 1-4, respectivement. Il n'y a pas de différence significative entre les lots 1 et 4 (P>0.05).

La **Figure 3B** représente la cétonémie sur les 36 jours d'expérimentation. Avant l'induction du diabète, c'est -à-dire au J-7, il n'y a pas de différence significative entre les cétonémies des différents lots de rats (P>0.05). Apres induction du diabète, les cétonémies des rats diabétiques, lot 2 (p<0,01), lot 3 (p<0,01), lot 4 (p<0,001) sont nettement supérieures à celles des rats sains. Elles sont de 0,99 ± 0,05 mmol/L, 2,92 ± 1,28 mmol/L, 2,89 ± 0,87 mmol/L, 4,00 ± 0,98 mmol/L pour les lots 1-4, respectivement. Au 14e jour d'expérimentation les cétonémies des rats diabétiques ayant reçu la solution buvable sont devenues normale. Il n'y a pas de différence significative entre les rats des lots 1, 3 et 4 (P>0,05). Elles sont de 0,97 ± 0,06 mmol/L, 3,24 ± 1,19 mmol/L, 1,04 ± 0,04 mmol/dL, 1,04 ± 0,07 mmol/L pour les lots 1-4, respectivement. Les lots 3 et 4, diabétiques traités ont une baisse extrêmement significative de leurs cétonémies comparés au lot 2 diabétique non traité (p<0,001). Il y a eu une pause dans le traitement du 14e jour au 22e Jour, et reprise du traitement du 22e jour au 36e jour. Au 36e jour les cétonémies des rats sont de 0,94 ± 0,06 mmol/L, 2,92 ± 1,28 mmol/L, 1,16 ± 0,11 mmol/L, 1,06 ± 0,10 mmol/L pour les lots 1-4, respectivement. Il n'y a pas de différence significative entre les lots 1 et 4 (P>0.05). Par contre les cétonémies des rats diabétiques non traités sont restés élevés après le jour 0 jusqu'au jour 36 (p<0,001).

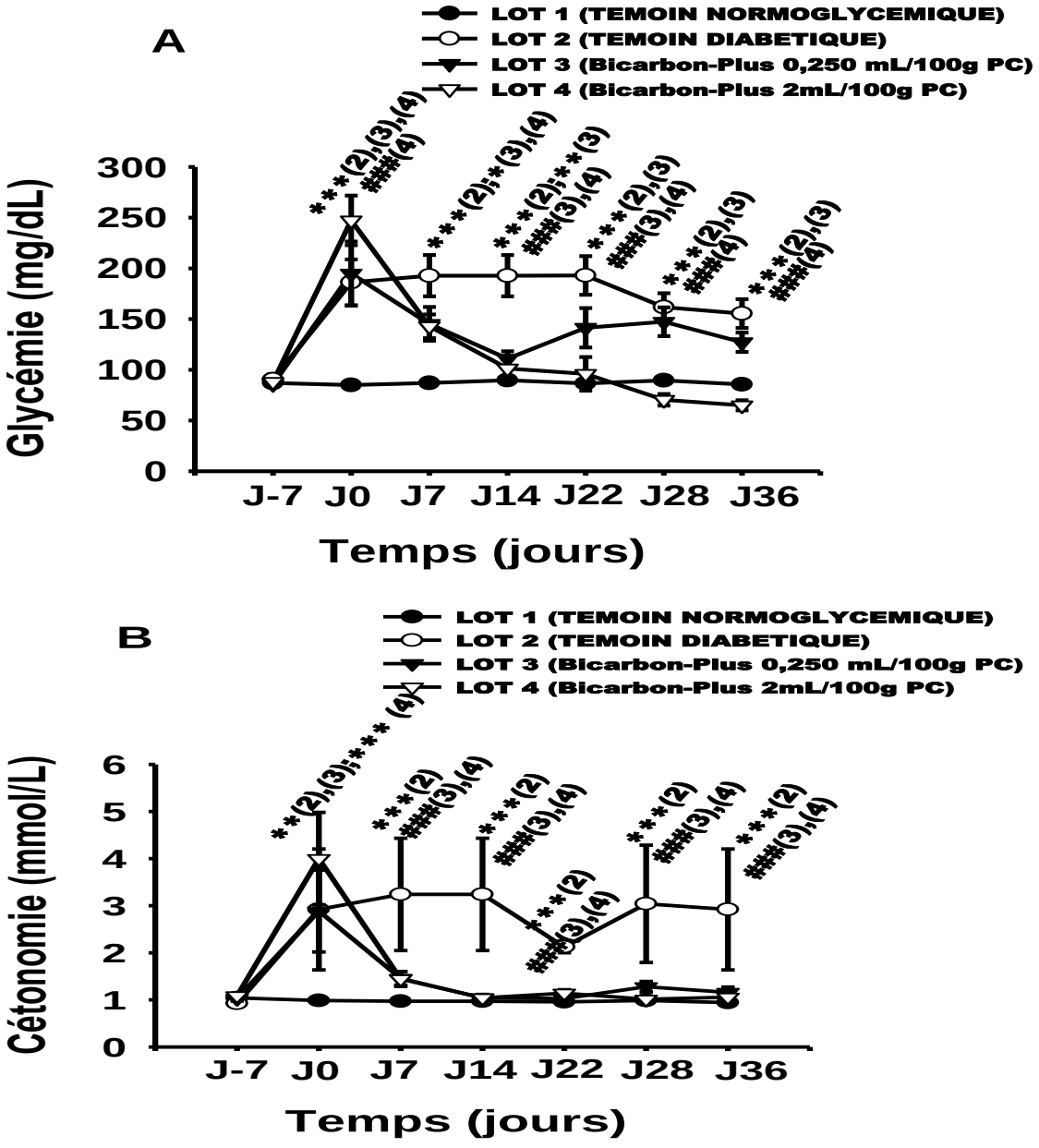


Fig. 3. Glycémie et cétonémie

*(A) Glycémie, (B) Cétonémie. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux. Les chiffres (1), (2), (3), (4) représentent les analyses statiques sur les lots 1-4, respectivement.*

3.3 EFFET DU TRAITEMENT BICARBON-PLUS SUR LES PARAMETRES LIPIDIQUES AU 14E JOUR

Les taux de cholestérol total, HDL-C, Triglycérides et LDL-C ont été évalués au 14^{e} jour de traitement pour les lots 1, 3 et 4. La **Figure 4A** représente les taux de cholestérol total. Ils sont de 0,88 ± 0,07 g/L, 0,79 ± 0,03 g/L, 0,66 ± 0,05 g/L pour les lots 1, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse très significative du taux de cholestérol total du lot expérimental, lot 3 (p<0,01), et extrêmement significative du taux de cholestérol total du lot expérimental, lot 4 (p<0,001) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. La **Figure 4B** représente les taux HDL-C. Ils sont de 0,221 ± 0,017 g/L, 0,197 ± 0,008 g/L, 0,164 ± 0,012 g/L pour les lots 1, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse très significative du taux de HDL-C du lot expérimental, lot 3 (p<0,01), et extrêmement significative du taux de HDL-C du lot expérimental, lot 4 (p<0,001) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. La **Figure 4C** représente les taux des triglycérides. Ils sont de 2,05 ± 0,32 g/L, 1,62 ± 0,24 g/L, 1,75 ± 0,22 g/L pour les lots 1, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse significative du taux des triglycérides du lot expérimental, lot 3 (p<0,05) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. La **Figure 4D** représente les taux de LDL-C. Ils sont de 0,167 ± 0,049 g/L, 0,334 ± 0,043 g/L, 0,419 ± 0,029 g/L pour les lots 1, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative du taux de LDL-C du lot expérimental, lot 3 (p<0,001) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique.

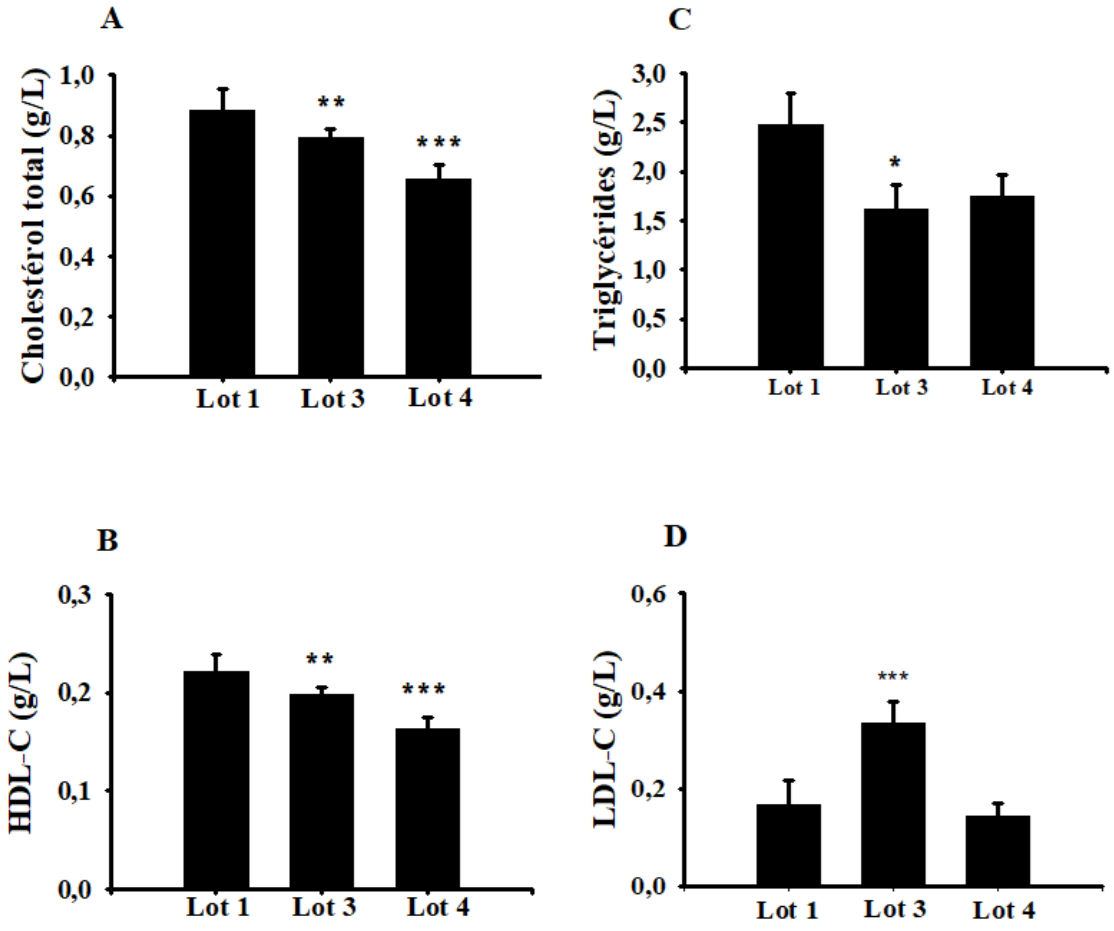


Fig. 4. Cholestérol total, triglycérides, HDL-C, et LDL-C au14^{e} jour (J14)

*(A) Cholestérol total, (B) HDL-C, (C) Triglycérides et (D) LDL-C. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux.*

3.4 EFFET DU TRAITEMENT BICARBON-PLUS SUR LES PARAMETRES LIPIDIQUES AU 36E JOUR

Les taux de cholestérol total, HDL-C, Triglycérides et LDL-C ont été évalués au 36e jour de traitement pour les lots 1, 2, 3 et 4. La **Figure 5A** représente les taux de cholestérol total. Ils sont de 0,739 ± 0.046 g/L, 0.489 ± 0,033 g/L, 0,649 ± 0,052 g/L, 0,737 ± 0,098 g/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse extrêmement significative du taux de cholestérol total du lot témoin diabétique, lot 2 (p<0,001) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre les taux de cholestérol total des lots expérimentaux, lot 3 (p>0,05) et lot 4 (p>0,05) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Par contre, on observe une hausse très significative du taux de cholestérol total du lot expérimental, lot 3 (p<0,01) et une hausse extrêmement significative du taux de cholestérol total du lot expérimental, lot 4 (p<0,001) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 5B** représente les taux HDL-C. Ils sont de 0,169 ± 0,013 g/L, 0,115 ± 0,006 g/L, 0,164 ± 0,014 g/L, 0,184 ± 0,025 g/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse extrêmement significative du taux de HDL-C du lot témoin diabétique, lot 2 (p<0,001) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre les taux de HDL-C des lots expérimentaux, lot 3 (p>0,05) et lot 4 (p>0,05) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Par contre, on observe une hausse très significative du taux de HDL-C du lot expérimental, lot 3 (p<0,01) et une hausse extrêmement significative du taux de HDL-C du lot expérimental, lot 4 (p<0,001) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 5C** représente les taux des triglycérides. Ils sont de 1,52 ± 0,21 g/L, 1,43 ± 0,20 g/L, 1,72 ± 0,26 g/L, 1,48 ± 0,42 g/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. Il n'y a pas de différence significative entre les taux de triglycérides des lots expérimentaux et des lots témoins. La **Figure 5D** représente les taux de LDL-C. Ils sont de 0,266 ± 0,057 g/L, 0,1028 ± 0,027 g/L, 0,139 ± 0,026, 0,263 ± 0,053 g/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse extrêmement significative du taux de LDL-C des lots, lot témoin diabétique, lot 2 (p<0,001), et lot expérimental, lot 3 (p<0,01) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre le taux de LDL-C du lot expérimental, lot 4 (p>0,05) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Par contre, on observe une hausse extrêmement significative du taux LDL-C du lot expérimental, lot 4 (p<0,001) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique.

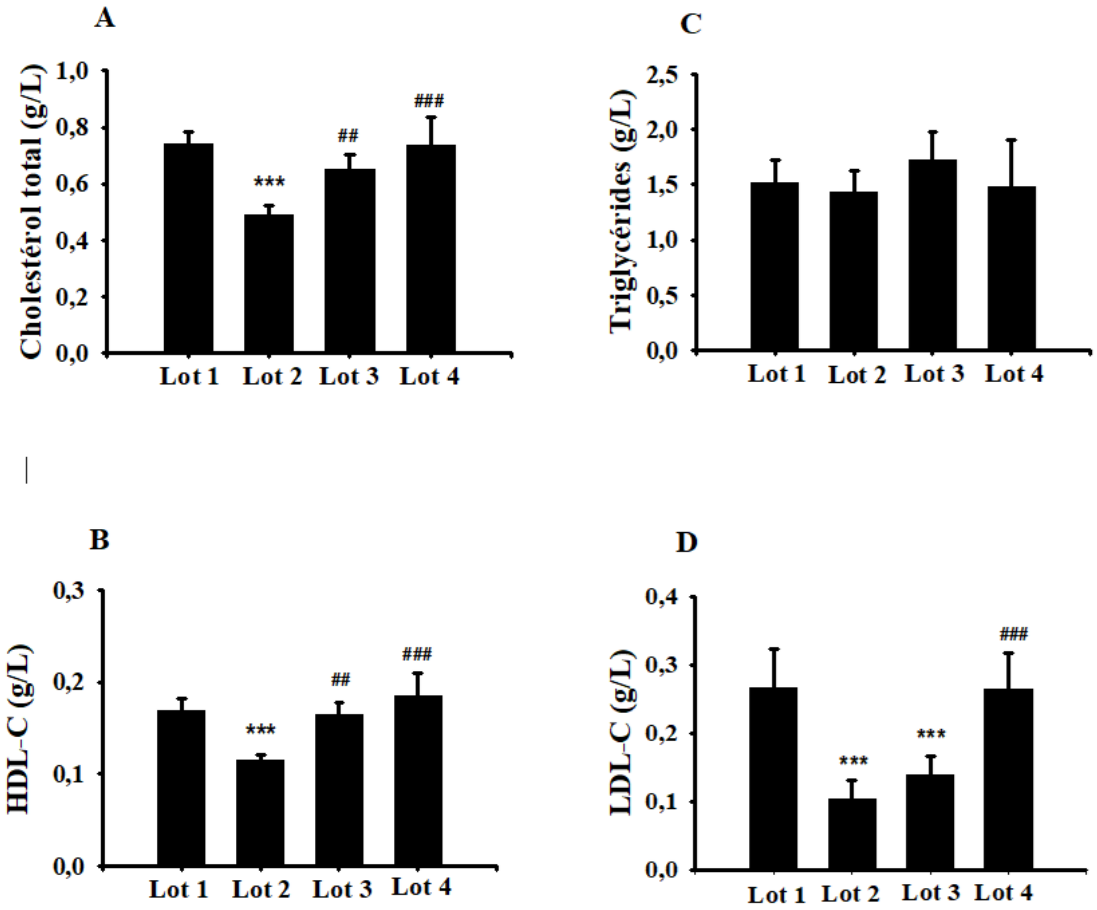


Fig. 5. Cholestérol total, triglycérides, HDL-C, et LDL-C au 36e jour (J36)

*(A) Cholestérol total, (B) HDL-C, (C) Triglycérides et (D) LDL-C. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux.*

3.5 EFFET DU TRAITEMENT BICARBON-PLUS SUR LES PARAMETRES BIOCHIMIQUES AU 36E JOUR

Les taux de ALAT, ASAT, créatine, urée, CRP, SOD ont été évalués au 36^{e} jour de traitement pour les lots 1, 2, 3 et 4. La **Figure 6A** représente les taux de ALAT. Ils sont de 41,07 ± 3,45 UI/L, 43,79 ± 6,36 UI/L, 31,22 ± 4,71 UI/L, 69,32 ± 7,51 UI/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative du taux de ALAT du lot expérimental, lot 4 ($p<0,001$) par rapport aux lots témoins, lot 1, lot témoin normoglycémique et lot 2, lot témoin diabétique. Il n'y a pas de différence significative entre les taux de ALAT du lot expérimental, lot 3 ($p>0,05$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique et lot 2, lot témoin diabétique. Par contre, on observe une baisse significative du taux de ALAT du lot expérimental, lot 3 ($p<0,05$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 6B** représente les taux de ASAT. Ils sont de 33,67 ± 4,91 UI/L, 60,82 ± 8,84 UI/L, 58,34 ± 12,46 UI/L, 53,22 ± 7,60 UI/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse très significative du taux de ASAT des lots, lot témoin diabétique, lot 2 ($p<0,001$), des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,01$) et lot 4 ($p<0,01$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre les taux de ASAT des lots expérimentaux, lot 3 ($p>0,05$) et lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 6C** représente les taux de la créatine. Ils sont de 6,05 ± 0,17 mg/L, 8,71 ± 0,77 mg/L, 7,35 ± 1,02 mg/L, 5,91 ± 1,04 mg/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative du taux de créatine du lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,001$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémque. Il n'y a pas de différence significative entre les taux de créatine des lots expérimentaux, lot 3 ($p>0,05$) et lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Par contre, on observe une baisse extrêmement significative du taux de créatine du lot expérimental, lot 4 ($p<0,05$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 6D** représente les taux d'urée. Ils sont de 0,151 ± 0,004 g/L, 0,337 ± 0,135 g/L, 0,185 ± 0,025 g/L, 0,169 ± 0,011 g/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative du taux d'urée du lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,001$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémque. Il n'y a pas de différence significative entre les taux d'urée des lots expérimentaux, lot 3 ($p>0,05$) et lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Par contre, on observe une baisse très significative du taux d'urée des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,01$) et lot 4 ($p<0,01$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 7A** représente les taux de CRP. Ils sont de 5,05 ± 0,18 mg/L, 9,66 ± 0,34 mg/L, 6,74 ± 0,311 mg/L, 5,99 ± 0,32 mg/L pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative des taux de CRP des lots, lot témoin diabétique, lot 2 ($p<0,001$), des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Il y a une baisse extrêmement significative des taux de CRP lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique.

La **Figure 7B** représente les taux de SOD. Ils sont de 1027,17 ± 113,28 UI/g Hb, 18,75 ± 0,34 UI/g Hb, 1585,80 ± 7,10 UI/g Hb, 1527,00 ± 66,92 UI/g Hb pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une baisse extrêmement significative du taux de SOD du lot témoin diabétique, lot 2 ($p<0,001$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. Il y a également une hausse extrêmement significative des taux de SOD des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. On observe une hausse très significative des taux de SOD des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique.

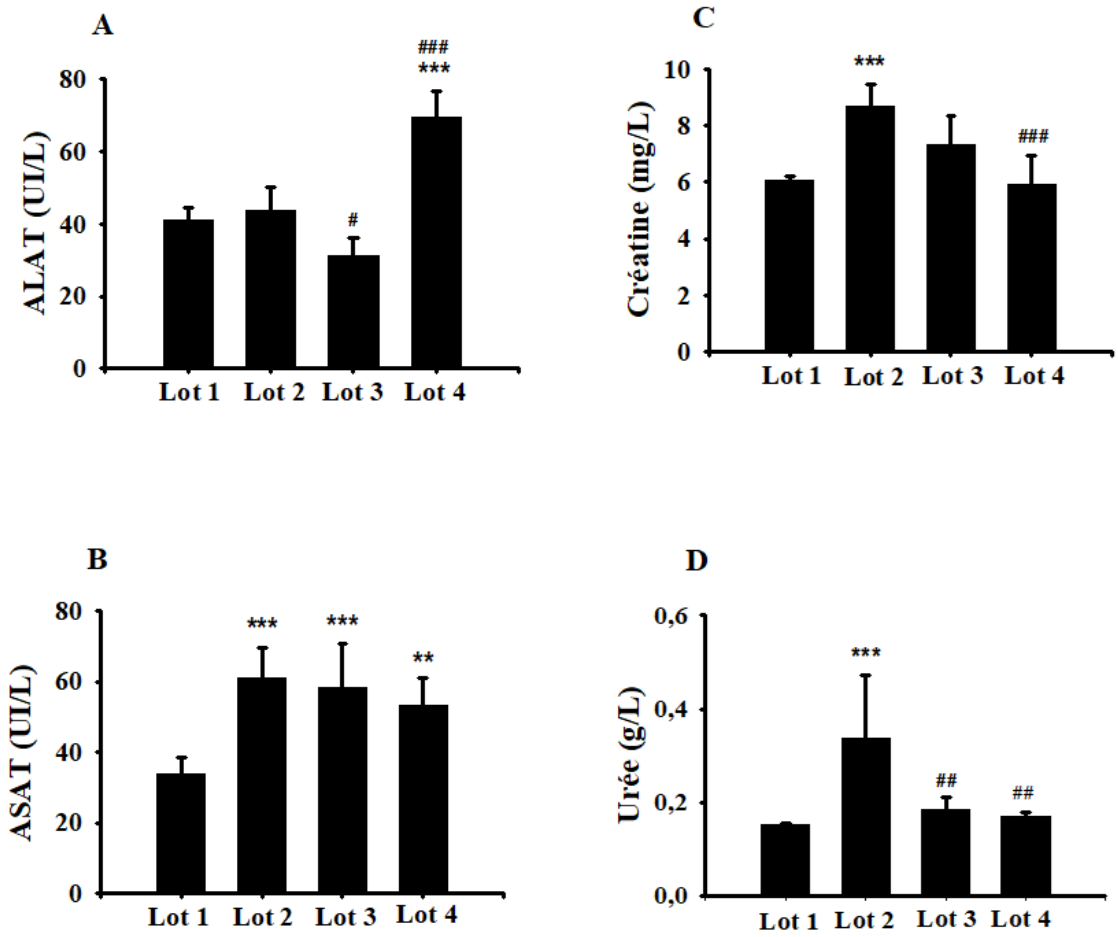


Fig. 6. ALAT, ASAT, créatine, urée au 36e jour (J36)

*(A) ALAT, (B) ASAT, (C) Créatine et (D) Urée. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux.*

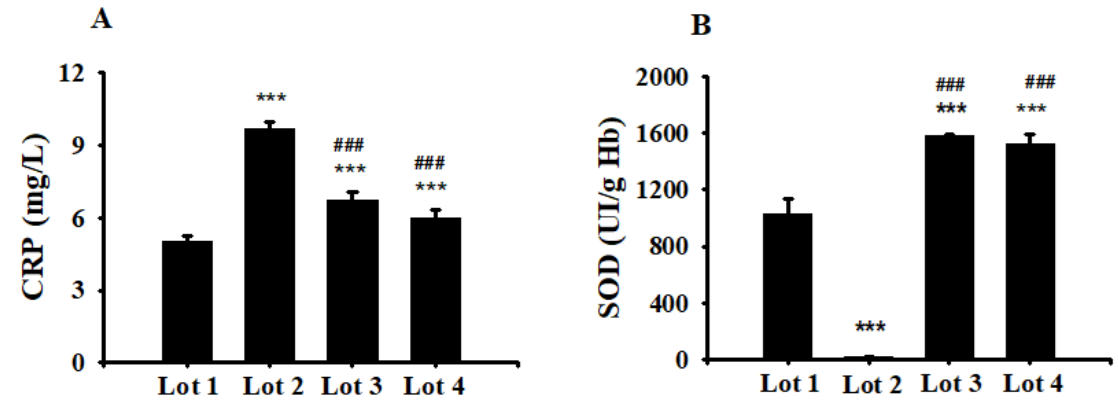


Fig. 7. CRP et SOD au 36e jour (J36)

*(A) CRP, (B) SOD. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux.*

3.6 EFFET DU TRAITEMENT BICARBON-PLUS SUR LA BIOMETRIE DES ORGANES AU 36E JOUR

L'effet du traitement Bicarbon-Plus sur le développement des organes a pu être analysé grâce aux masses relatives des organes. Ainsi les masses relatives des organes tels que le foie, cœur, reins, pancréas, estomac, rate et poumons ont pu être déterminées.

La **Figure 8A** représente les masses relatives du foie. Elles sont de 3,15 ± 0,16 %, 4,68 ± 0,19 %, 4,73 ± 0,12 %, 4,55 ± 0,07 % pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative des masses relatives des lots, lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,001$), des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport aux lot témoin, lot 1, lot temoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre les lots expérimentaux, lot 3 ($p>0,05$) et lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 8B** représente les masses relatives du cœur. Elles sont de 0,280 ± 0,014 %, 0,321 ± 0,014 %, 0,326 ± 0,013 %, 0,314 ± 0,009 % pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative des masses relatives des lots, lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,001$), des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot témoin, lot 1, lot témoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre les lots expérimentaux, lot 3 ($p>0,05$) et lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 8C** représente les masses relatives des reins. Elles sont de 0,383 ± 0,044 %, 0,475 ± 0,039 %, 0,563 ± 0,025 %, 0,563 ± 0,017 pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse très significative de la masse relative du lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,01$) et extrêmement significative des masses relatives des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot témoin, lot 1, lot témoin normoglycémique. Il y a une différence extrêmement significative entre les masses relatives des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. La **Figure 8D** représente les masses relatives du pancréas. Elles sont de 0,208 ± 0,014 %, 0,281 ± 0,017 %, 0,305 ± 0,016 %, 0,355 ± 0,024 % pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative des masses relatives du lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,01$), et extrêmement significative des masses relatives des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot témoin, lot 1, lot témoin normoglycémique. Il y a une différence extrêmement significative entre les masses relatives du lot expérimental, lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 1, lot témoin normoglycémique. La **Figure 9A** représente les masses relatives de l'estomac. Elles sont de 0,148 ± 0,005 %, 0,240 6 ± 0,021 %, 0,208 ± 0,004 %, 0,191 ± 0,008 % pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative des masses relatives des lots, lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,01$), des lots expérimentaux, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot témoin, lot 1, lot témoin normoglycémique. Il y a une baisse extrêmement significative des masses relatives, lot 3 ($p<0,001$) et lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique.

La **Figure 9B** représente les masses relatives de la rate. Elles sont de 0,210 ± 0,015 %, 0,248 ± 0,018 % 0,259 ± 0,022 %, 0,225 ± 0,017 % pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse significative de la masse relative du lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,05$) et très significative de la masse relative du lot expérimental, lot 3 ($p<0,01$) par rapport au lot témoin, lot 1, lot témoin normoglycémique. Il n'y a pas de différence significative entre les lots expérimentaux, lot 3 ($p>0,05$) et lot 4 ($p>0,05$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique. La **Figure 9C** représente les masses relatives des poumons. Elles sont de 1,52 ± 0,10 %, 2,56 ± 0,04 %, 1,72 ± 0,06 %, 2,09 ± 0,10 % pour les lots 1, 2, 3 et 4, respectivement. On observe une hausse extrêmement significative des masses relatives des lots, lot 2, lot témoin diabétique ($p<0,001$), du lot expérimental, lot 4 ($p<0,001$) par rapport au lot témoin, lot 1, lot témoin normoglycémique. Il y a une baisse extrêmement significative de la masse relative du lot 3 ($p<0,001$) et très significative de la masse relative du lot 4 ($p<0,01$) par rapport au lot 2, lot témoin diabétique.

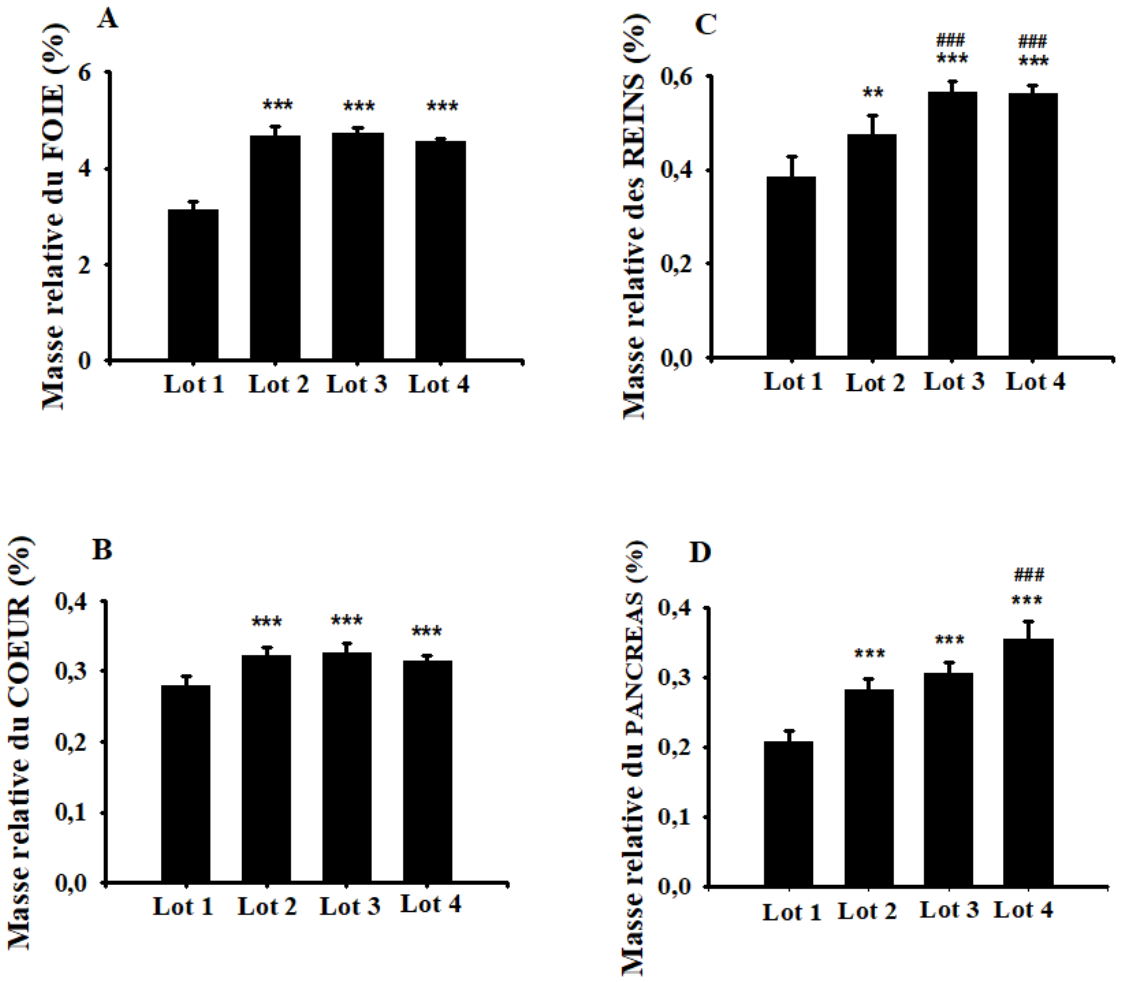


Fig. 8. Masses relatives du foie, du cœur, des reins et du pancréas au 36e jour (J36)

*(A) Masse relative du foie, (B) Masse relative du cœur, (C) Masse relative des reins et (D) Masse relative et du pancréas. Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 7 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test de Turkey-Kramer. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins normoglycémiques et expérimentaux. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre témoins diabétiques et expérimentaux.*

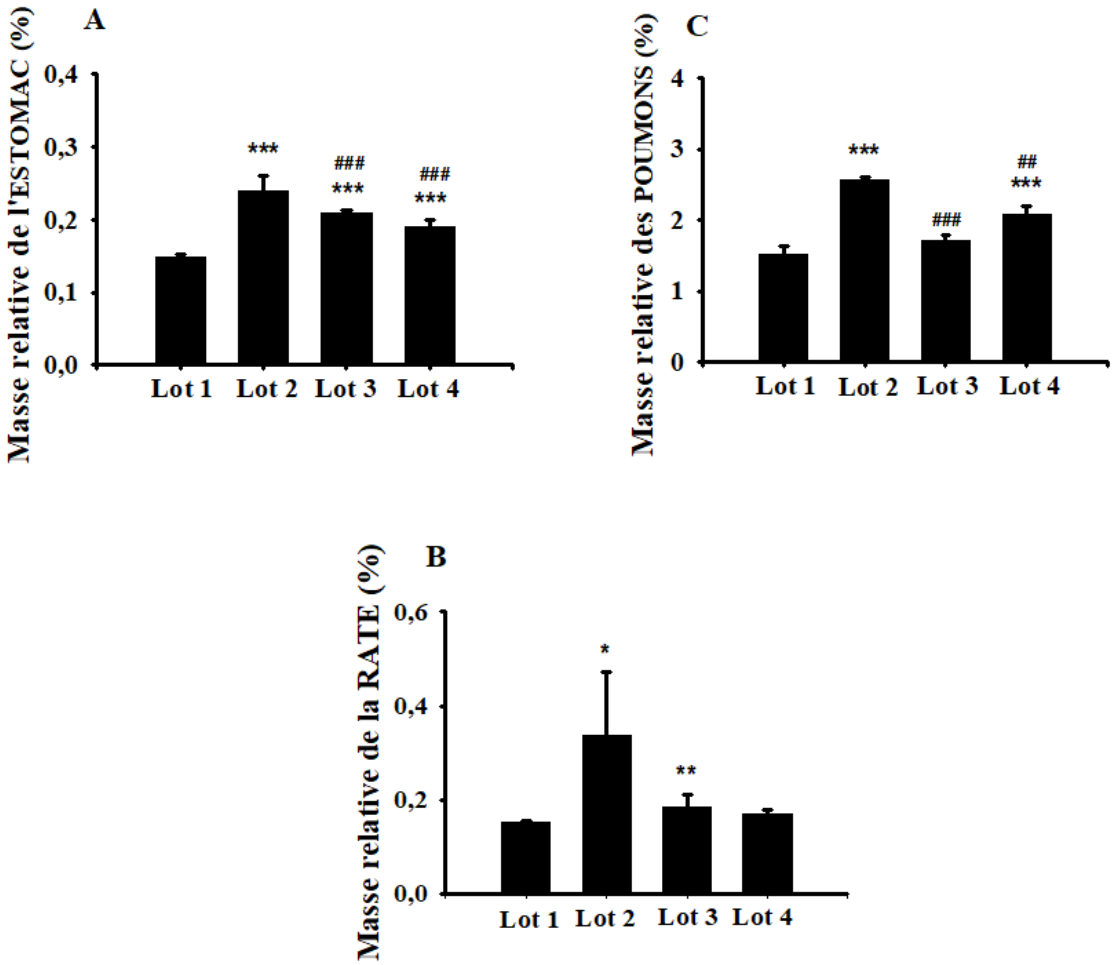


Fig. 9. Masses relatives de l'estomac, de la rate et des poumons au 36e jour (J36)

3.7 Effet Du Traitement Au Bicarbon-Plus Sur L'aspect Macroscopique Des Organes

L'effet du traitement au Bicarbon-Plus sur le développement des organes a pu être analysé grâce à l'aspect macroscopique. Ainsi l'aspect macroscopique des organes tels que foie, cœur, reins, pancréas, estomac, rate et poumons ont pu être observés. La **Figure 10** représente l'aspect macroscopique des organes foie, cœur, reins, pancréas, estomac, rate et poumons des lots 1-4 au 36e jour d'expérimentation. Les données nous permettent de dire que les organes ne sont pas affectés au niveau macroscopique.

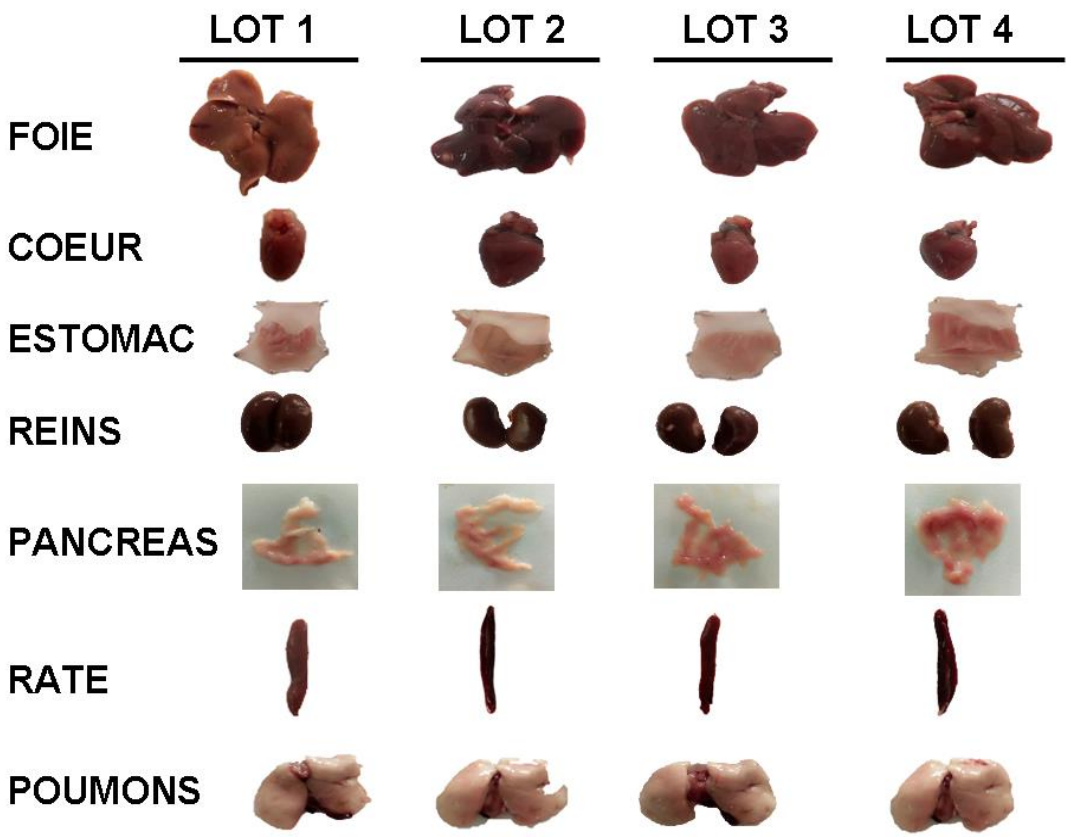


Fig. 10. Biométrie des organes au 36e jour (J36)

Les images représentent les aspects macroscopiques des foies, des cœurs, des reins, des pancréas, des estomacs, des rates et des poumons des rats des lots 1-4 au 36e jour (J36).

4 DISCUSSION

Nous avons entrepris cette étude en vue de répondre un certain nombre de préoccupations qu'on rencontre dans le traitement de l'acidocétose diabétique. Et pour le traitement de l'acidocétose diabétique, il existe des traitements par voie parentérale. Notre objectif était de trouver un traitement de l'acidocétose diabétique par voie entérale. C'est fort de ce constat que nous avons élaboré un sel hydrosoluble fonctionnel à base de bicarbonate de sodium. Il a été nommé Bicarbon-Plus. Il faut dire que le bicarbonate de sodium fait partie de la liste des médicaments essentiels de l'OMS [20]. En plus, le bicarbonate de sodium fait partie des ingrédients alimentaires (Codex Alimentarus), et accepté par l'OMS comme un additif alimentaire [21]**.** Cette étude a montré que le Bicarbon-Plus est bénéfique pour le traitement de l'acidocétose diabétique à plusieurs niveaux. L'acidocétose diabétique est d'abord caractérisée par une glycémie et une cétonémie importantes. La prise du Bicarbon-Plus permet d'avoir des taux normaux de glycémie et de cétonémie chez les rats rendus diabétiques. Ce qui indique qu'il est hypoglycémiant, et alcalinisant. A l'analyse des paramètres anthropométriques, il n'a pas été obtenu de différence significative pour les consommations de l'eau et de l'aliment entre les différents lots de rats. Par contre, on observe une perte de poids chez les rats diabétiques, ainsi qu'une baisse de la température corporelle tout au long de l'expérimentation. La perte de poids est donc le signe de la non utilisation du glucose chez les diabétiques. Parmi un des signes cliniques du diabète non traité est la perte de poids. Les paramètres lipidiques ont été étudiés au 14e jour de traitement, ainsi qu'au 36e jour de traitement. Il s'agit des taux de Cholestérol total, HDL-C, LDL-C et triglycérides. Il en ressort que lorsqu'on passe du 14e jour au 36e jours de traitement, on a une augmentation du taux de HDL-C chez rats rendus diabétiques, traités avec le Bicarbon-Plus. Le HDL-C est considéré comme le "bon cholestérol", donc bénéfique à l'organisme. Alors que les taux de triglycérides ne varient pas significativement entre les différents lots de rats. On a analysé de même les paramètres biochimiques. Le foie est le principal siège du métabolisme des nutriments et des médicaments. L'utilisation d'un certain nombre de produits peut également affecter la mobilité et le rythme cardiaque. ALAT et ASAT sont des transaminases qui sont présentes dans tous les tissus. Alors que ALAT est prédominant dans le foie, ASAT est prédominant dans les muscles, et notamment le cœur. Nos résultats indiquent que pour les rats diabétiques ayant reçu 0,250 mL/100 g de p.c. de la solution buvable de bicarbonate de sodium, les taux des transaminases, ALAT a diminué significativement, et ASAT est non significative par rapport au lot témoin diabétique. Cela permet de dire que la dose de 0,250 mL/100 g de p.c. a un effet hépatoprotecteur. On a observé une baisse des taux de la créatine et de l'urée, qui sont des marqueurs d'atteinte rénale. Ce qui indique que Bicarbon-Sel a un effet

néphroprotecteur. Ensuite, on a observé une diminution du taux de CRP, qui est un marqueur de l'inflammation. La CRP est la protéine de la phase aiguë de l'inflammation, synthétisée dans le foie et régulée par les cytokines, principalement l'IL-6 et le TNF-alpha [22]. Ce qui indique que le Bicarbon-Plus a un effet anti-inflammatoire. Enfin, on a observé une augmentation du taux de SOD, qui est un marqueur des activités antioxydantes. Ce qui indique que le Bicarbon-Plus a un pouvoir antioxydant. La biométrie des organes a été étudiée par la mesure des masses relatives des organes. Les masses relatives des organes tels que le foie, cœur, reins, pancréas, estomac, rate et poumons ont été analysées. Il en ressort que le traitement au Bicarbon-Sel à tendance à faire augmenter la masse des organes tels que le pancréas et les reins. Ce qui montre une fois de plus son effet néphroprotecteur, et son impact sur la protection de la masse du pancréas. Le Bicarbonate de sodium prolonge la survie rénale en ralentissant le déclin de la filtration glomérulaire, repoussant ainsi un traitement par dialyse ou transplantation rénale [23]. Le bicarbonate de sodium est un produit écologique dérivé de produits naturels. Le bicarbonate de sodium n'est pas hypertenseur [24].

Donc, nos résultats permettent de dire que l'usage du sel hydrosoluble Bicarbon serait bénéfique pour le traitement du diabète et pour la santé humaine.

5 CONCLUSION

Le sel hydrosoluble fonctionnel à base de bicarbonate de sodium Bicarbon présente beaucoup de bienfaits pour l'organisme. Il est alcalinisant, fait baisser la cétonémie, hypoglycémiant, fait augmenter le HDL-C qui est le bon cholestérol, anti-inflammatoire, antioxydant, hépatoprotecteur, néphroprotecteur, et protège la masse du pancréas. Cela amène à dire que le Bicarbon-Plus présente énormément de potentialités qui sont bénéfiques au bon fonctionnement de l'organisme, et la santé humaine. Il pourrait être préconisé pour le traitement du diabète.

REMERCIEMENTS

On remercie tous ceux qui de près ou de loin ont apporté un appui à ce travail.

REFERENCES

[1] OMS, «Rapport sur la santé dans le monde: réduire les risques et promouvoir une vie saine», pp.4, 2002. [Online] Available: https://iris.who.int/handle/10665/42522?&locale-attribute=f (10 Octobre, 2023).

[2] K.M. Robert, K.G. Daryl, et V. W. Rodwell, Harper's Illustrated Biochemistry, 27th Edition. The McGraw-Hill Education, New York, pp. 400-500, 2006.

[3] K.N. Seidelin, «Fatty acid composition of adipose tissue in humans. Implications for the dietary fat serum cholesterol-CHD issue», *Progress in Lipid Research,* vol. 34, no 3, pp. 199–217, 1995.

[4] K. Shirai, «Obesity as the core of the metabolic syndrome and the management of coronary heart disease», *Current Medical Research and Opinion,* vol. 20, no 3, pp. 295–304, 2004.

[5] A.P. Simopoulos, «Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development», *American Journal of Clinical Nutrition,* vol. 54 no 3, pp. 438–463, 1991.

[6] F. Verdier et L. Fourcade, «Evolution des facteurs de risque cardio-vasculaire dans les pays en développement». *Médecine Tropicale,* vol. 67, pp. 552-558, 2007.

[7] A. Lokrou, «Hyperlipidémie et diabète en Côte d'Ivoire: étude transversale de 132 cas», *Médecine d'Afrique Noire,* vol. 45 no 10, pp. 555-557, 1998.

[8] O. Pasche, S. Pache, J. Cornuz, R. Darioli et N. Rodondi, «Comment mettre en application des recommandations de pratique clinique ? L'exemple des dyslipidémies», *Revue Médicale Suisse,* vol. 4, pp. 662-665, 2008.

[9] OMS, «Rapport mondial sur le diabète», 2016. [Online] Available: https://apps.who.int/iris/handle/10665/254648 (10 Octobre, 2023).

[10] IDF, *IDF Diabétes Atlas 10th edition,* 2021. [Online] Available: https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/ (10 Octobre, 2023).

[11] E. Menon, C. Ribeiro, «Les comas diabétiques», *Urgences,* ch. 102, pp. 1141-1156, 2011.

[12] P.K. Kakoma, D.M. Kadiebwe, A.M. Kayembe, P.K. Makonga, M. Bugeme, et O. Mukuku, «Acidocétose diabétique chez l'adulte à l'Hôpital Sendwe de Lubumbashi : À propos de 51 cas». *Pan African Medical Journal,* vol. 17, pp. 324, 2014.

[13] D.P. Koffi, «P155 Acidocétose diabétique en Côte-d'Ivoire : Aspects clinique thérapeutique et évolutif à propos de 359 cas», *Diabetes et Metabolism,* vol. *34,* pp. H84, 2008.

[14] Y. Sanogo, «Aspects épidémiologique, clinique et pronostique de la cétoacidose diabétique chez l'enfant dans le département de pédiatrie du CHU Gabriel TOURE» [Thèse, USTTB], 2021. [Online] Available: https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/4854 (10 Octobre, 2023).

[15] R. Luwaert et A. E. Lambert, «Le Traitement de l'acidoCétose diabétique», *Acta Clinica Belgica,* vol. *33,* no 6, pp. 370-380, 1978.

[16] Z. D. G. Van, « Diagnosis and Treatment of Diabetic Ketoacidosis», *South African Family Practice,* vol. *50, no* 1, pp. 35-39, 2008.

[17] EU, «Council Directive 86/609/EEC of 24 November 1986 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States regarding the protection of animals used for experimental and other scientific purposes», *Official Journal,* vol. L 358, pp. 1–28, 1986. [Online] Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31986L0609 (10 Octobre, 2023).

[18] A.N. Nagappa, P.A. Thakurdesai, N.V. Rao, and J. Singh, Antidiabetic activity of Terminalia catappa Linn fruits«, *Journal of Ethnopharmacology,* vol. 88, pp. 45-50, 2003.

[19] A.L. Kraus, «Research methodology», H.J. Baker, J.R. Lindsey et S.R. Weisbroth eds. The Laboratory Rat, vol 2, pp. 1-30, 1980.

[20] C. Phosat, P. Panprathip, N. Chumpathat, P. Prangthip, N. Chantratita, N. Soonthornworasiri, S. Puduang, K. Kwanbunjan, «Elevated C-reactive protein, interleukin 6, tumor necrosis factor alpha and glycemic load associated with type 2 diabetes mellitus in rural Thais: a cross-sectional study», *BMC Endocrine Disorders,* vol. 17, no 1, pp. 44, 2017.

[21] OMS, «Specifications for the identity and purity of food additives and their toxicological evaluation: some antimicrobials, antioxydants, emulsifiers, stabilizers, flour-treatment agent, acids and bases», *Technical Report Series,* no 339, pp.1-24, 1966. [Online] Available: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/39853/WHO_TRS_339.pdf; jsessionid=EBF703BABC7934B09015F72FCC8ECF9E?sequence=1 (11 Novembre, 2023).

[22] N.A. KHAN, «Inflammation et immunité: implications dans l'obésité et le diabète de type 2», *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids,* vol. 13 n°5, pp 343-351, 2006.

[23] A. Rossier, R. Bullani, D. Teta, M. Burnier, «Bicarbonate de sodium pour ralentir la progression de la maladie rénale chronique», *Revue. Médicale. Suisse,* vol. 284, no 3, pp. 478–482, 2011.

[24] T.A. Kotchen, «Contributions of sodium and chloride to NaCl-induced hypertension». *Hypertension,* vol. 45 no 5, pp. 849-50, 2005.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1192-1208
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractérisation expérimentale des propriétés physiques, mécaniques et thermiques du palmier rônier (Borassus aethiopum mart) en fonction de la teneur en eau et de la température

[Experimental characterization of the physical, mechanical and thermal properties of palm tree (Borassus aethiopum mart) dependent of moisture content and temperature]

Memtine Ndong Augustin[1], Danebe Kada Alain[1], Djoda Pagore Frederick[2], and Nsouandele Jean Luc[3]

[1]Département du Génie Textile et Cuir, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua, Université de Maroua, Cameroon

[2]Département de Génie Civil et Architecture, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua, Université de Maroua, Cameroon

[3]Département des Energies Renouvelables, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua, Université de Maroua, Cameroon

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work determines the physical (density, shrinkage and porosity), mechanical (compression, bending, stress and Elasticity modulus) and thermal (conductivity, diffusivity, effusivity) characteristics that allow the rational and optimal use of palm tree, which is one of the biomaterials used in traditional and semi-modern construction in northern Cameroon. These properties were determined experimentally at different temperatures using the weighing method, mechanical tests and thermal using the «MINCO 230Ω P» heating resistor inserted between two samples. The test results obtained are interesting and satisfactory. The heartwood density varies from 300 to 400 kg.m-3 and the sapwood from 750 to 1,000 kg.m-3. Porosity depending of moisture content is between 76 and 80% for the heartwood and from 38 to 52% for the sapwood. The volumetric shrinkage rate is from 5 to 14% for the heartwood and from 6 to 9% for the sapwood. The stress and the Young's modulus of Borassus Aethiopum mart. at 12% of moisture content are respectively evaluated at 74.789 ± 5.171 MPa and 3,434.548 ± 82.195 MPa. The longitudinal compression stress is 58.290±3.582 MPa and 29.210±1.775 MPa for transverse compression, the longitudinal compression Young's modulus is 1,386.470 ± 41.661 MPa and transverse compression is 209.418 ± 6.456 MPa. The thermal effusivity is 458.189 J/m^{2}Ks$^{1/2,}$ the volumetric heat capacity is 322,627.7 J/m^{3}K and the thermal conductivity is 0.651 W/mK are the thermal characteristics obtained. The results of the tests obtained are important and advantageous for the using of palm tree in civil engineering and cabinet-making.

KEYWORDS: Palm tree, physical, mechanical, thermal characteristics, temperature.

RESUME: Ce travail détermine les caractéristiques physiques, mécaniques, et thermiques permettant l'utilisation rationnelle et optimale du rônier qui fait partir des bio-matériaux dans les constructions traditionnelles et semi-modernes du Cameroun septentrional. Ces propriétés sont déterminées expérimentalement à différentes températures en utilisant la méthode par pesée, les essais de flexion trois points et le dispositif de la résistance chauffante « MINCO 230Ω P » insérée entre deux échantillons. Les résultats obtenus sont intéressants et satisfaisants. La masse volumique qui varie de 300 à 400 kg.m^{-3} pour le duramen et de 750 à 1 000 kg.m^{-3} pour l'aubier. La porosité en fonction de la teneur en eau est entre 76 et 80 % pour le duramen et de 38 à 52 % pour l'aubier. Le taux de rétractabilité volumique est de 5 à 14 % pour le duramen et de 6 à 9 % pour l'aubier. La contrainte à la rupture et le module d'Young du rônier à 12% sont respectivement évalués à 74,789 ± 5,171 Mpa, et à 3 434,548 ± 82,195 MPa. Les essais de compression déterminent la contrainte à la rupture longitudinale à 58,290±3,582 MPa et transversale à 29,210±1,775 MPa, le module d'Young en compression longitudinale est de 1 386,470 ± 41,661 MPa et transversale est de 209,418 ± 6,456 MPa. L'effusivité thermique de 458,189 J/m^{2}Ks$^{1/2,}$ la capacité thermique volumique de 322 627,7 J/m^{3}K et la conductivité thermique de 0,651 W/mK. Ces résultats sont importants et avantageux pour les applications du rônier dans les ouvrages du génie civil et d'ébénisterie.

MOTS-CLEFS: Palmier rônier, caractéristiques physiques, mécaniques, thermiques, température.

1 INTRODUCTION

Le bois de rônier est un matériau composite naturel, extrait du palmier rônier *(Borassus aethiopum mart.),* de la famille des *arecacées* et natif des régions tropicales d'Afrique sahélienne et sub-saharienne, d'Asie et de Nouvelle-Guinée. Au Cameroun, il se rencontre principalement dans les régions septentrionales et l'Est [1-2]. Toutes ses parties sont exploités diversement comme dans la construction des habitats traditionnels et semi-modernes d'une part et comme combustible d'autre part en passant par l'ébénisterie [3-4]. Des recherches ont été menées sur la typologie des usages du rônier mais la connaissance sur leurs utilisations comme bois d'œuvre reste une préoccupation du fait de la méconnaissance des caractéristiques physique et mécanique en fonction de la teneur en eau et de la température. Ce manque d'information précise entraine également un souci majeur des sous-estimations technologiques et structurales de cet arbre [5-8].

Plus encore, le palmier rônier étant un biomatériau dépend de sa structure anatomique et de sa teneur en eau [9]. Les propriétés physico-mécaniques et thermiques du bois de rônier (*Borassus aethiopum mart.*) ne peuvent pas s'énoncer aussi rigoureusement que celles d'autres matériaux. Elles sont fonction de la variation des proportions en éléments chimiques qui le constitue à savoir la cellulose, l'hémicelluloses, l'air, l'eau et la lignine [10].

L'intérêt de cette étude permettant de justifier l'utilisation rationnelle et optimale du rônier, porte d'abord sur les évaluations de la masse volumique, de la rétractabilité volumique et de la porosité en fonction de la teneur en eau et de la température. Ensuite sur la contrainte à la rupture et le module d'élasticité en flexion et en compression longitudinale et transversale aux fibres sont menés. Enfin, sur les propriétés thermiques, l'effusivité thermique, la capacité thermique volumique et la conductivité thermique sont établies.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal a été prélevé sur un tronc de rônier femelle, âgé d'environ 70 ans, abattu dans le village "Kongola", dans la région de l'Extrême Nord Cameroun. C'est un arbre de hauteur et de diamètre d'environ 15 m et 75 cm respectivement (figure 1a).

Des disques ont été prélevés à chaque mètre sur une hauteur utile de dix (10) mètre du sol (figure 1b). Des planches brutes de 25 mm d'épaisseur ont été sciées radialement dans les quatre directions du rayon, sur toute la surface du disque. Des éprouvettes ont été découpées de ces planches brutes aux dimensions de $20 \times 20 \times 20$ mm^3 sur l'aubier et sur le duramen dans le sens longitudinal, tangentiel et radial (figure 1c) selon la norme ASTM D143-94 [11]. Toutes les éprouvettes ont été prélevées à l'état frais du palmier rônier.



a- Tronc de palmier rônier



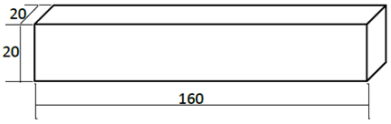
b- Disque de 30 cm de long extrait du tronc



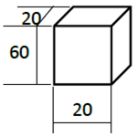
c- éprouvettes de 20 × 20 × 20 mm3

Fig. 1. Matériel végétal

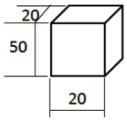
Des séries des échantillons ont été prélevés sur l'aubier et le duramen du rônier pour chaque type de sollicitation. Ces échantillons de forme parallélépipédique sont taillés suivant les normes NF B51-016 [12] pour les déterminations des des propriétés physiques, mécaniques et thermiques du palmier rônier en fonction de la teneur en eau et de la température (figure 2) [13]. Quatre éprouvettes ont été prélevés sur l'aubier du rônier pour les essais thermiques avec pour dimensions: $100 \times 100 \times 20$ mm^3.



a- Eprouvette de flexion trois ponts



b- Eprouvette de compression simple longitudinale



c- Eprouvette de compression simple transversale

Fig. 2. Eprouvettes des essais mécaniques

2.1.2 MATÉRIEL TECHNIQUE

Une étuve de marque MEMMERT dont la température varie de 30 à 220 °C a été utilisé pour le séchage des éprouvettes. Un pied à coulisse numérique à 0,01 mm près a été mis à contribution pour la mesure des dimensions des éprouvettes et une balance électronique de marque SATORIUS de type PJ-400 de 0,001g a servi à faire les pesées pendant le séchage des éprouvettes (figure 3).



a- Pied à coulisse numérique



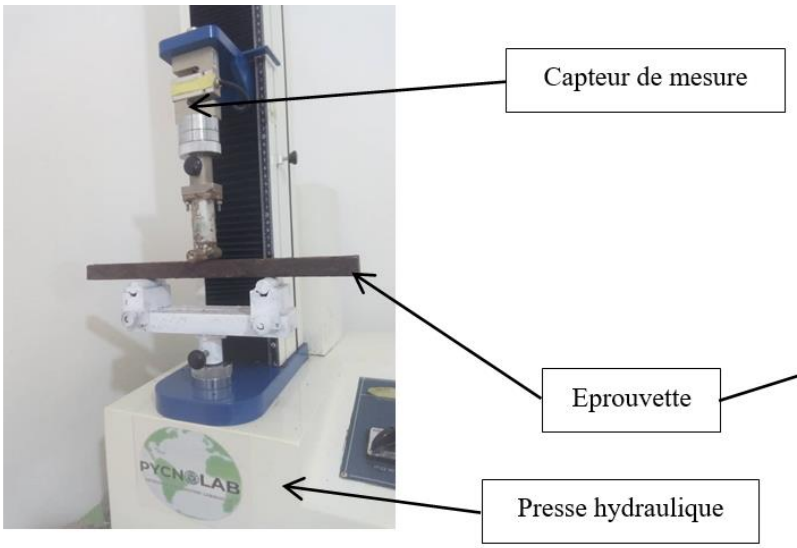
b- Balance de précision



Etuve de séchage

Fig. 3. Equipements utilisées pour la mesure des grandeurs physiques

Une presse hydraulique de marque COYON CJ-0820 (figure 4) avec acquisition des données a été utilisée pour la caractérisation mécanique des éprouvettes de palmier rônier.



a- Dispositif d'essai de flexion trois points



b- Dispositif d'essai de compression

Fig. 4. Dispositif de caractérisation mécanique

Le dispositif expérimental du type plan chaud asymétrique de la figure 5 a été utilisé pour les essais thermiques.

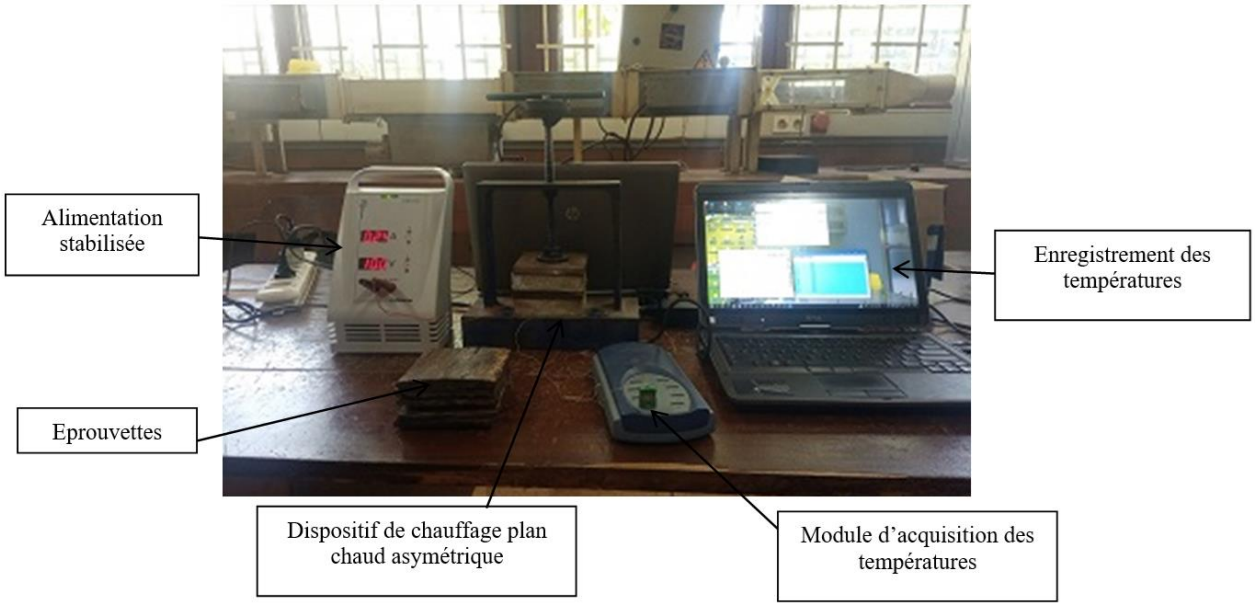


Fig. 5. Dispositif expérimental d'essai thermique

2.2 PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

2.2.1 CARACTÉRISATION PHYSIQUE

La méthode par pesée est utilisée pour la détermination de la masse volumique, de la rétractabilité et de la porosité du rônier.

LA MASSE VOLUMIQUE

Cinq échantillons distincts prélevés sur l'aubier et cinq autres sur le duramen encore frais ont été d'abord séchés à 40°C, 50°C, 60°C et 70°C respectivement pour l'étude de la masse volumique. Ces échantillons ont été pesés et les dimensions mesurées toutes les heures à la sortie de l'étuve jusqu'à 12 % de leur teneur en eau. Enfin, ces derniers ont été séchés à l'étuve à 103 ± 2 °C jusqu'à stabilisation de leur masse.

Les différentes données lors de ces essais pratiques ont permis de déterminer les propriétés physiques du palmier rônier à l'aide des équations (1), (2), (3), (4) et (5):

La masse volumique anhydre ρ_0 de bois est donnée par la relation 1.

$$\rho_0 = \frac{M_0}{V_0} \tag{1}$$

Avec M_0 et V_0 respectivement la masse en kg et le volume du bois séché en m^3.

La masse volumique considérée avec une teneur en eau H non négligé est:

$$\rho_H = \frac{M_H}{V_H} \tag{2}$$

Avec M_H et V_H la masse en kg et le volume en m^3 d'un échantillon à un taux d'humidité H.

La teneur en eau de l'échantillon est donnée par la relation 3:

$$H(\%) = \frac{M_H - M_0}{M_0} \times 100 \tag{3}$$

Avec M_H la masse de l'échantillon à la teneur en eau H, M_0 la masse de l'échantillon anhydre.

LA RÉTRACTIBILITÉ

La rétractibilité volumique est déterminée par la relation 4 toujours par la méthode par pesée.

$$B = \frac{V_H - V_0}{V_0} \times 100 \quad (4)$$

Avec V_H le volume de l'éprouvette à la teneur en eau H et V_0 le volume de l'éprouvette anhydre tous en m^3.

LA POROSITÉ

La porosité p (%) est donnée par:

$$P = 100\left(1 - \frac{\rho_0}{\gamma_s}\right) \quad (5)$$

Où ρ_o (Kg/m^3) et γ_s (Kg/m^3) sont respectivement les masses volumiques de l'échantillon anhydre d'un bois supposé non poreux et une constante pour toutes les espèces de bois égale à 1500 kg/m^3.

Les équations 2, 3 et 4, permettent d'obtenir l'équation (6):

$$\rho_H = \rho_0 \frac{(H + 100)}{(B + 100)} \quad (6)$$

2.2.2 CARACTÉRISATION MÉCANIQUE

Dix (10) échantillons ont été prélevés sur l'aubier et le duramen du rônier pour chaque type de sollicitation. Ces échantillons de forme parallélépipédique sont taillés suivant les normes NF B51-016 [12] pour les essais de flexion trois points, NF ISO 13061-17 [13] et ISO-13061-5-2020 [14] pour les essais de compression simple (figure 4). Une charge de 5 kN et de 100 kN a été respectivement appliquée aux échantillons de rônier de teneur en eau de 12%, à la vitesse 2 mm/min jusqu'à la rupture pour, respectivement les essais de flexion trois points et de compression simple longitudinale et transversale aux sens des fibres. Le logiciel Test Master a été utilisé pour tracer les courbes Force-Déplacement et effectuer le calcul de tous les paramètres de l'essai.

Les essais de flexion trois points permettent de déterminer la résistance mécanique en flexion par la relation 7, la déformation maximale de l'éprouvette par la relation 8 et le module d'élasticité en flexion par la relation 9.

$$\sigma_f = \frac{3F_m L}{2bh^2} \quad (7)$$

$$\varepsilon_f = \frac{6h}{L^2} \times s \times 100 \quad (8)$$

$$E = \frac{F_m L^3}{4bsh^3} \quad (9)$$

F_m (N) est la force maximale en flexion de l'éprouvette;

b (mm) et h (mm) sont respectivement la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette;

s (mm) est la flèche;

L (mm) est la longueur entre appui de l'éprouvette (160 mm);

ε_e (%) est la déformation élastique de l'éprouvette.

Les essais de compression permettent de déterminer la résistance mécanique en compression par la relation 10, la déformation maximale de l'éprouvette par la relation 11 et le module d'élasticité en compression par la relation 12.

$$\sigma_c = \frac{F_m}{s} \tag{10}$$

$$\varepsilon_f = \frac{A_r}{L} \times 100 \tag{11}$$

$$E = \frac{\sigma_e}{\varepsilon_e} \times 100 \tag{12}$$

F_m (N) est la force maximale en compression de l'éprouvette;

S (mm^2) la section de l'éprouvette;

A_r (mm) Rétrécissement à la rupture;

L (mm) est la longueur de l'éprouvette;

ε_e (%) est la déformation élastique de l'éprouvette;

σ_e (MPa) la limite d'élasticité $\sigma_e = \frac{F_e}{s}$.

2.2.3 CARACTÉRISATION THERMIQUE

Quatre échantillons ont été séchés dans une étuve à 105 ◦C pendant 48 h. Ensuite, ils sont placés dans des plastiques et conservés pendant 48 h pour avoir une température uniforme pour tous les échantillons au cours de l'expérience. A partir de la relation mathématique (1), la masse volumique anhydre est obtenue. La température ambiante et l'humidité relative lors des mesures de conductivité thermique sont respectivement de 22 ◦C et 60 % HR [15 - 17].

Le dispositif de la figure 5 utilise une résistance chauffante « MINCO 230Ω P » insérée entre deux échantillons de surface plane du palmier rônier à caractériser de telle sorte que la chaleur est appliquée perpendiculairement aux sens des fibres. L'élément chauffant est relié à un thermocouple de type k qui, est relié à un système d'acquisition des données. Cet ensemble est inséré entre deux blocs de polystyrène d'une épaisseur de 5 cm et le tout est maintenu par deux blocs d'aluminium d'épaisseur de 4 cm chacun.

La capacité thermique massique ou chaleur spécifique en J/Kg.K est donnée par la relation 13.

$$C_P = \frac{1}{m}\frac{dQ}{dt} \tag{13}$$

La conductivité thermique λ en W/m.K est donnée par la relation 14.

$$\lambda = \frac{E^2}{\rho C_P} \; ou \; \lambda_{est} \frac{\left(E^2\right)_{est}}{\left(\rho C_P\right)_{est}} \tag{14}$$

La diffusivité thermique *a* en m^2/s est donnée par la relation 15.

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_P} \tag{15}$$

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

3.1.1 LA TENEUR EN EAU ET MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DU TEMPS

La caractérisation physique du palmier rônier du type *Borassus aethiopum mart* a permis d'obtenir l'évolution de la teneur en eau et de la masse volumique en fonction du temps d'une part (Figures 6 et 7), la masse volumique, la rétractabilité et de la porosité en fonction de la teneur en eau d'autre part (figures 8 à 11).

On remarque que la teneur en eau décroit avec l'augmentation de la température de séchage. Celle-ci décroit avec le temps de séchage. La teneur en eau initiale du duramen est d'environ cinq fois supérieure celle de l'aubier. Mais, ce séchage est moins rapide à 40 °C et 50 °C qu'au séchage à 60 °C et 70 °C dans le temps (figure 6). Ceci prouve dans le rônier la forte présence en eau liée et libre d'une part et l'abondance de la matière ligneuse et la présence des faibles interstices dans l'aubier contrairement au duramen à fortes interstices d'autre part. De ce fait, le séchage à 60 °C et à 70 °C, permet une évaporation de l'eau liée alors qu'à 40 °C et 50 °C, l'eau libre est extraite. Ce qui confirme l'originalité de la plante qui est originaire des zones tropicales d'Afrique sahélienne et sub-saharienne, d'Asie. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Nsouandele et *al.,* (2016) [18] et Ekomy et al., (2015) sur les bois tropicaux [19] et Ngargueudedjim et *al.,* (2019) [20] sur le rônier.

A partir des valeurs de la masse volumique (figure 7), seule l'aubier est exploitable dans les constructions des ouvrages de génie civil, avec une teneur en eau initiale d'environ 65 % qui peut être stabilisée à 12 %. Avec une teneur en eau initiale d'environ 280 %, le duramen (moelle) est exploité dans l'agroalimentaire pour la production du vin de palme conformément aux résultats de Behi et *al.,* 2002 [21].

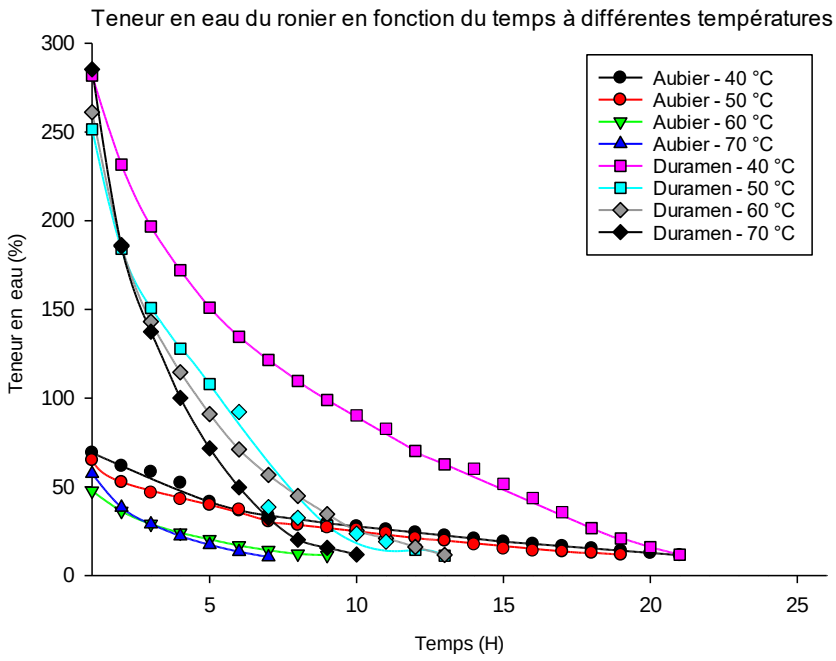


Fig. 6. Teneur en eau de l'aubier et du duramen du rônier en fonction du temps à différentes températures de séchage

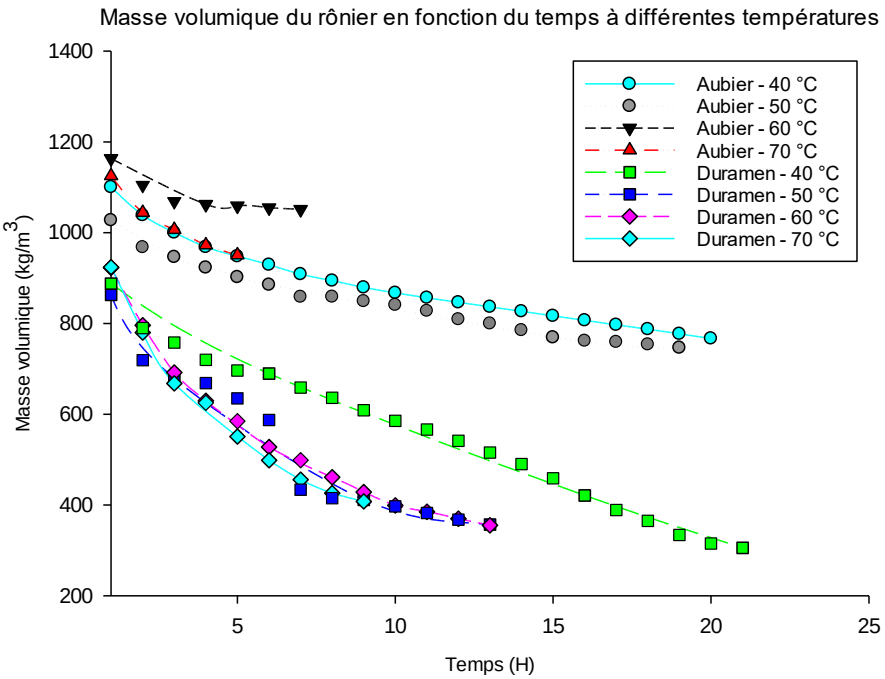


Fig. 7. Masse volumique de l'aubier et du duramen du rônier en fonction du temps à différentes températures de séchage

Initialement, la masse volumique de l'aubier est comprise entre 1000 et 1200 kg.m$^{-3,}$ et celle du duramen varie de 850 à 950 kg.m^{-3}. Après séchage, ces valeurs varient de 750 à 1000 kg.m^{-3} pour l'aubier et de 300 à 400 kg.m^{-3} pour le duramen (figure 7). La variation de la masse volumique dans le temps aux températures de séchage à 40 °C et à 50 °C est beaucoup plus étendue parce que ces températures permettent une évaporation de l'eau libre alors que la variation de la masse volumique dans le temps aux températures de séchage à 60 °C et à 70 °C est plus courte parce que ces températures permettent une évaporation plus rapide de l'eau libre; de ce fait favorisent la présence de l'eau liée. Ces variations de la masse volumique ont la même allure aux résultats des bois tropicaux obtenus par Nsouandele et al., (2016) [18].

3.1.2 LA MASSE VOLUMIQUE, LA RÉTRACTABILITÉ ET LA POROSITÉ EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU

Au début, la teneur en eau de l'aubier est comprise entre 35 et 65 % et celle du duramen varie de 200 à 300 %. Le séchage à chaque température met en exergue les deux parties essentielles du palmier rônier (figure 8). Alors l'aubier est un bois mi-lourd et lourd avec une masse volumique comprise entre 750 et 1 000 kg.m^{-3}. Cette partie à une texture forte et plus complexe, prédisposée dans l'utilisation des composites et des stratifiés.

Le duramen est un bois léger. Sa masse volumique qui varie de 300 à 400 kg.m^{-3} exploitable dans les composites à renforts poudriques. Ces résultats sont similaires à ceux de Ngargueudedjim et *al.,* (2015) [7] et Komlan et al., (2019) [22].

La variation de la masse volumique avec la teneur en eau du palmier rônier est plus importante au-dessus du point de saturation des fibres à cause de la migration d'eau libre, et faible en dessous à cause de la faible variation des masses par extraction d'eau liée. Car l'évaporation d'eau dans le rônier augmente avec la température.

Il ressort toujours de la figure 8 que la masse volumique du palmier rônier est plus influencée par la teneur en eau à différente température de séchage selon un schéma linéaire conformément à J. Gérard et *al.,* (1998) [23], Nsouandele et *al.,* (2016), et Tagne et al., (2009) [24] d'où la nécessité de la corrélation à établir par la relation mathématique 14 pour la prise en compte lors des simulations [18].

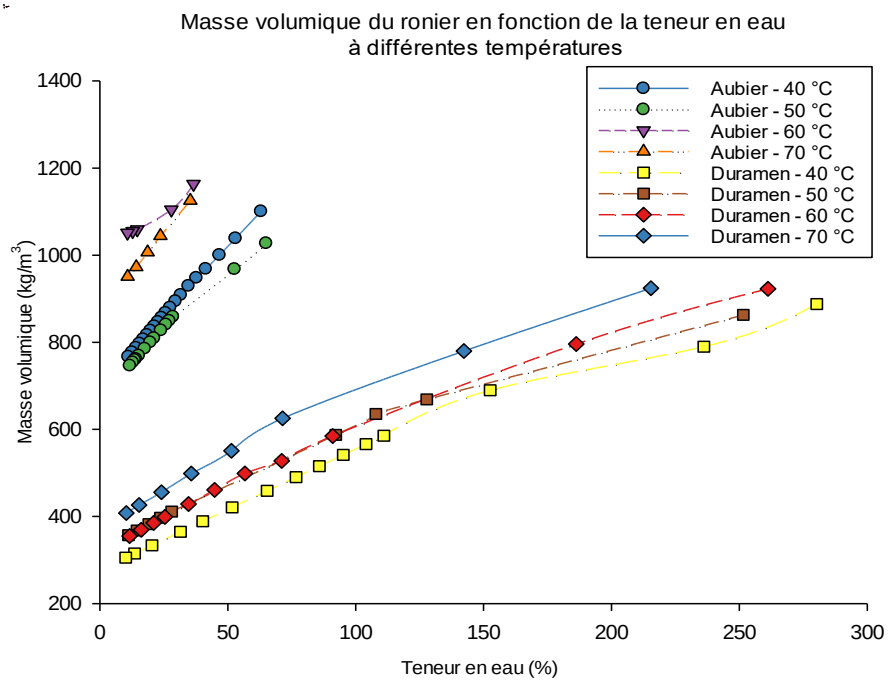


Fig. 8. ***Masse volumique de l'aubier et du duramen du rônier en fonction de la teneur en eau à différentes températures de séchage***

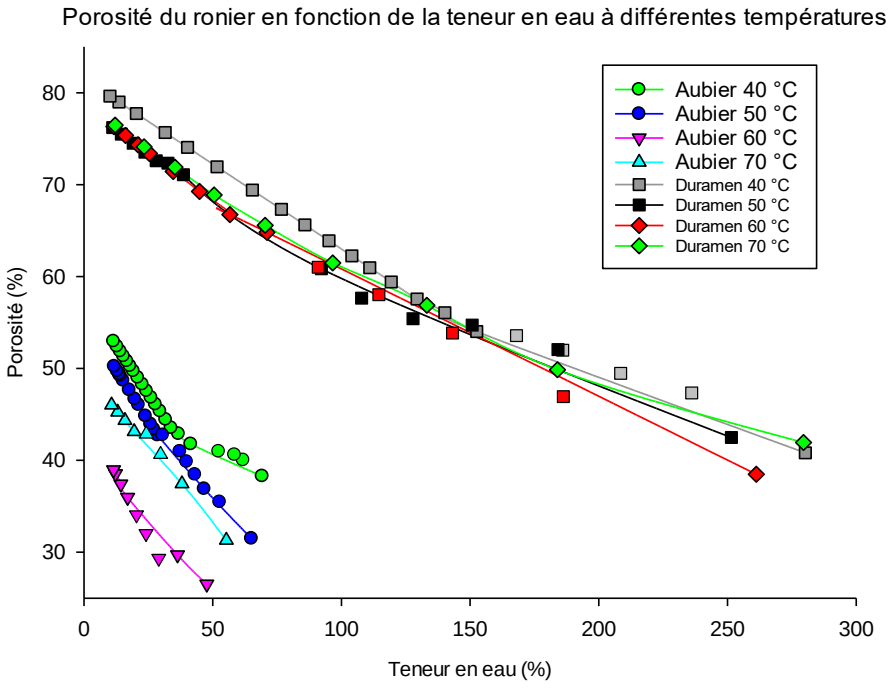


Fig. 9. ***Porosité de l'aubier et du duramen du rônier en fonction de la teneur en eau à différentes températures de séchage***

On constate une augmentation approximativement linéaire de toutes les rétractabilités du palmier rônier (figure 10). La rétractabilité volumique de l'aubier varie de 6 et 9 %, valeurs proches de celles obtenues de Gbaguidi et al., (2011) (figure 10) [25], alors que celle du duramen varie de 5 à 14 %. Ces valeurs sont proches de celles de. Ngargueudedjim *et al.* (2015) [26] et de Acheampong et *al.,* (2022) [27]. La rétractabilité longitudinale maximale de l'aubier est de 1,6 % alors que celle du duramen est presque nulle (0,4 %). La rétractabilité tangentielle de l'aubier est de 5 % alors que celle du duramen est de 10 %. La rétractabilité radiale des deux parties du rônier oscille autour de 3 %. Le point de saturation des fibres (PSF) est à 22% de sa teneur en eau pour l'aubier et de 100 % de sa teneur en eau pour le duramen. Il ressort de la figure 10 que les teneurs en eau inférieures au point de saturation des fibres (PSF), puis un plateau au-delà, mettant en évidence la saturation des sites d'adsorption de pores. On conclut que l'aubier a un faible retrait volumique avec un PSF à

22% alors que le duramen a un moyen retrait volumique avec un PSF à 100% (figure 11). Ces résultats sont proches de ceux de J. Gérard et al., (2016) [28].

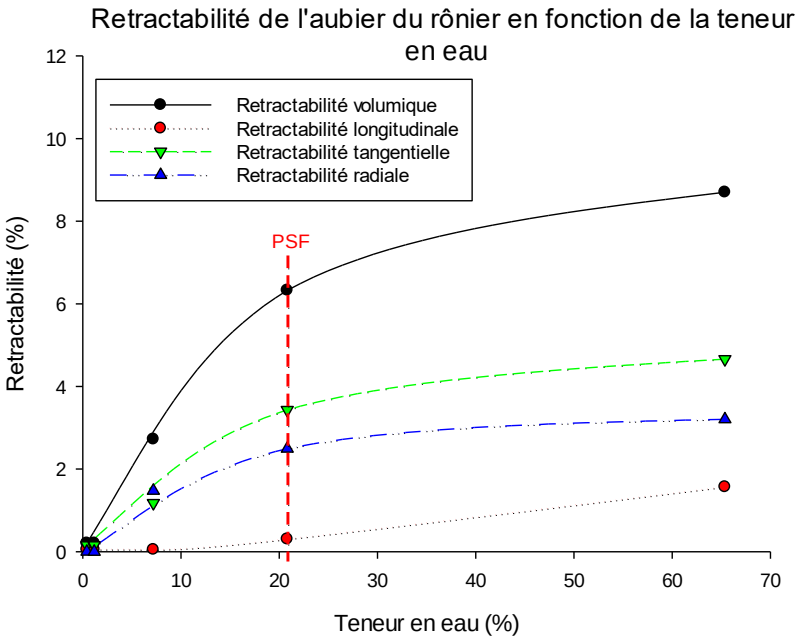


Fig. 10. Rétractabilité de l'aubier de rônier en fonction de la teneur en eau

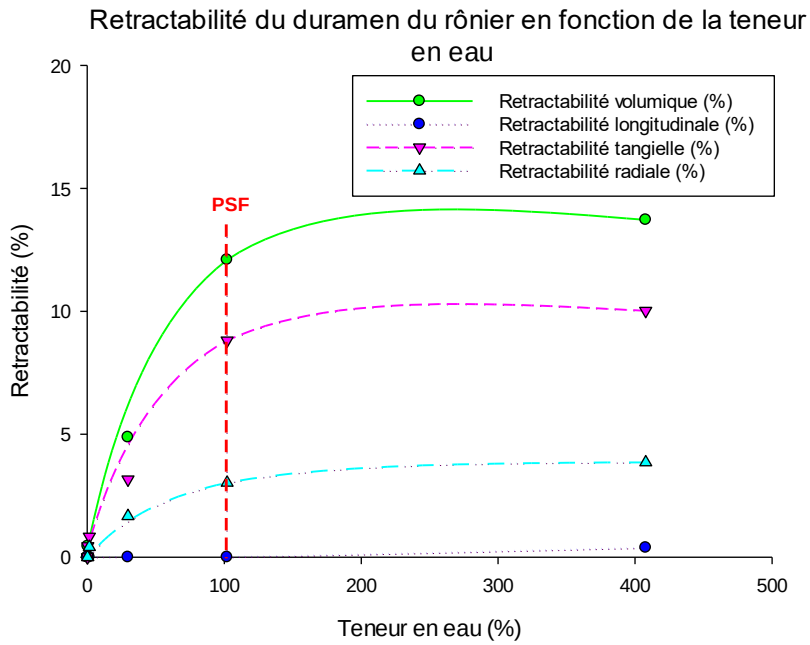


Fig. 11. Rétractabilité du duramen de rônier en fonction de la teneur en eau

Initialement, la porosité de l'aubier est comprise entre 26 et 38 %, alors que celle du duramen varie de 38 à 42 %. Après séchage, elle varie de 38 à 52 % pour l'aubier et de 76 à 80 % pour le duramen (figure 9). Les valeurs de la porosité montrent que, plus le rônier est dense, moins il est poreux, en outre, cette porosité augmente lorsque la teneur en eau diminue selon un schéma linéaire, d'où également la nécessité de l'étude d'une corrélation comme le montre B. Bonoma, M. S. Tagne, et L. Monkam (2010) [29].

Les figures 12 et 13 présentent la régression linéaire de la masse volumique et de la porosité du palmier rônier en fonction de la teneur en eau.

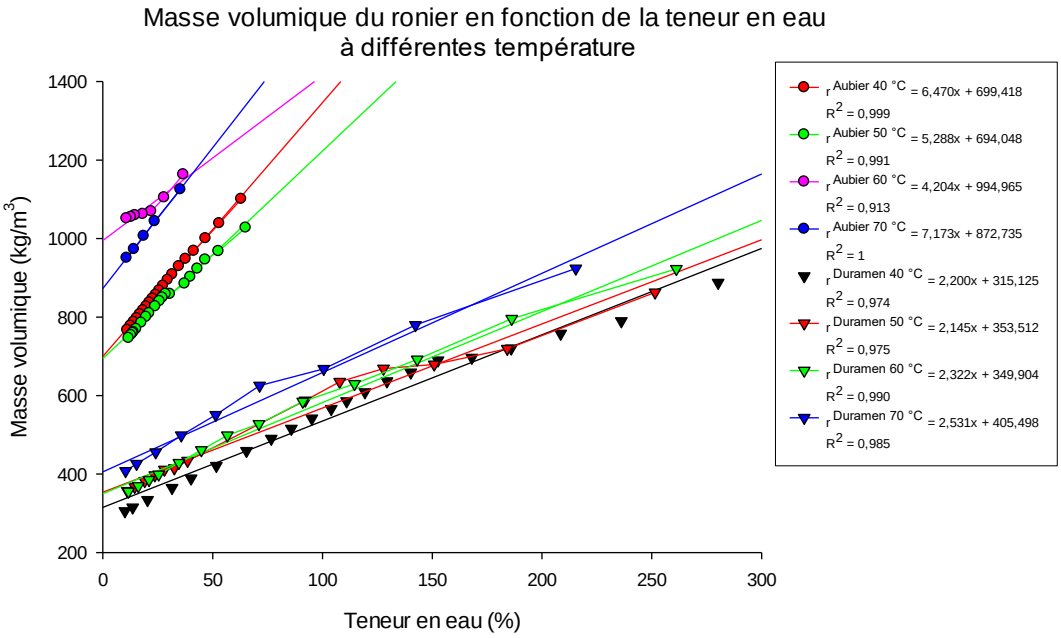


Fig. 12. Droites de régression de la masse volumique du rônier à différentes températures

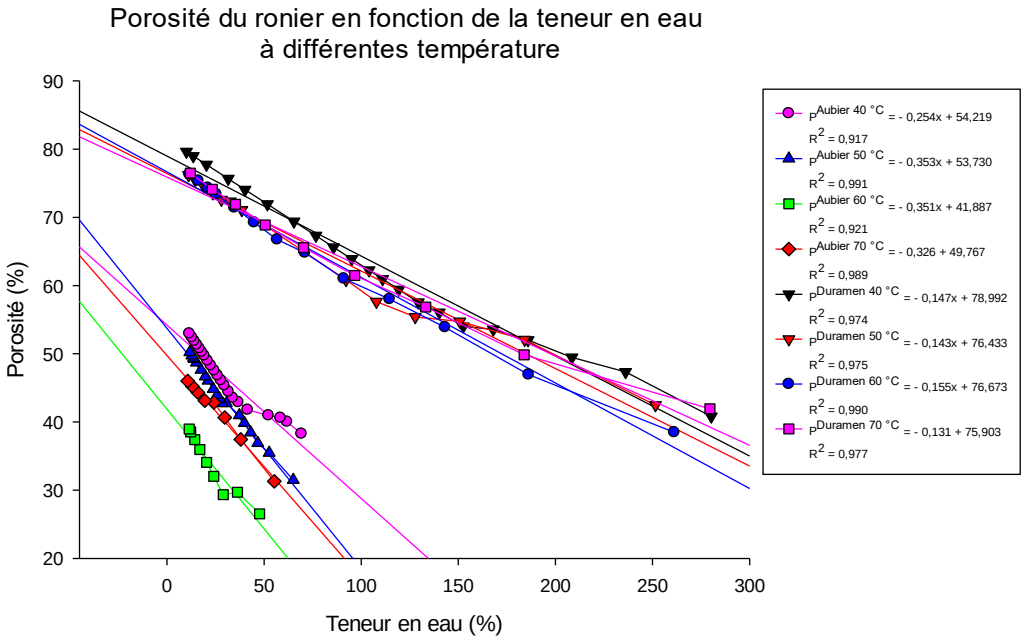


Fig. 13. Droites de régression de la porosité du rônier à différentes températures

3.1.3 CORRÉLATION DE LA MASSE VOLUMIQUE ET DE LA POROSITÉ EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU ET DE LA TEMPÉRATURE

Pour corréler les points expérimentaux, une relation prenant en compte à la fois l'influence de la température et de la teneur en eau est nécessaire. Soit:

$$\rho(T, H) = a + bT + cH + dHT \quad (14)$$

Où $\rho_H(T) = A + BH$ (15)

Avec $A = a + bT$ et $B = c + dT$ (16)

Avec T est la température (°C), H est la teneur en eau (%).

Les coefficients a, b, c et d sont à déterminer à partir de valeurs expérimentales. Celles-ci sont ainsi évaluées en minimisant l'écart entre les courbes expérimentales et les courbes théoriques. L'incertitude relative nécessaire entre les expériences et les corrélations correspondantes est déterminée par l'équation 17.

$$E(\%) = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\left|\rho_{thi} - \rho_{exi}\right|}{\rho_{exi}} \quad (17)$$

Où ρ_{th} et ρ_{ex} sont des masses volumiques obtenues respectivement par corrélation et expérimentation et N est le nombre de points expérimentaux par partie du rônier.

Cette étude montre que la masse volumique anhydre est liée à la température et est donnée par la relation (18).

$$\rho_H(T, 0) = a + bH \quad (18)$$

Où $\rho_0(T, 0) = A = \rho_0$

Les coefficients a, b, c, d résultant par partie étudiée en fonction de la température sont données dans le tableau 1 ci-dessous. Ces réels nécessitent une interprétation physique. Chaque coefficient est une valeur purement anhydre correspondant à la température de 0°C et à un taux d'humidité nul. Car il n'est pas possible d'obtenir expérimentalement cette valeur. Les coefficients b, c, d sont des approximations au premier ordre de la masse volumique fonction de la teneur en eau et de la température. Ils permettent de favoriser le coefficient *a* afin de retrouver des valeurs physiques réelles. Ces corrélations améliorent les modèles et les rapprochent des résultats pratiques.

L'influence de la température de séchage est évidente sur ces deux propriétés et les pentes diffèrent selon la partie étudiée (aubier, duramen).

L'influence de la température n'est pas explicite dans les pentes de régression diffèrent selon les parties du rônier, ce qui conduit à l'étude de la porosité du bois et à l'influence de la température dans la régression linéaire (figures 12 et 13).

Les masses volumiques anhydres et standards (tableau 1) obtenues correspondent aux résultats de J. Gérard et al., (1998) et fournissent d'avantage les informations sur les bois tropicaux.

Les résultats de la porosité du Tableau 1 montrent que la porosité diminue lorsque la densité du bois augmente. Les fibres des bois lourds sont emmêlées, irréguliers et souvent entrelacées. Ces bois lourds peuvent être utilisés en génie civil. Les bois légers sont utilisés en menuiserie intérieure/extérieure et en ébénisterie. Au vue des valeurs de la porosité obtenue, les deux parties du palmier étudié peuvent être utilisées comme renforts des matériaux composites.

Tableau 1. Valeur des masses volumiques du rônier en fonction de la teneur en eau et de la température

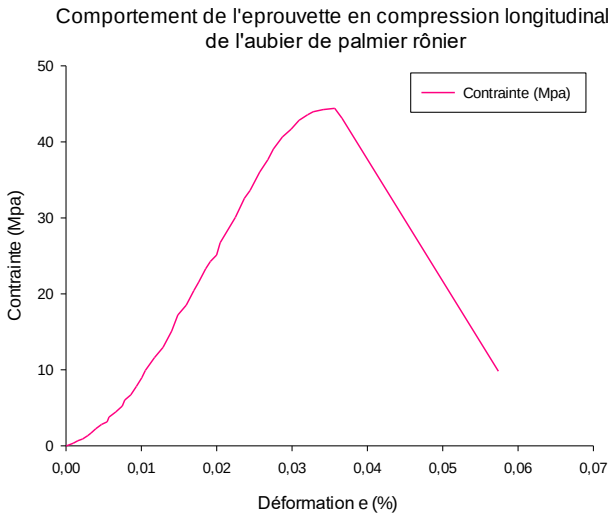
Partie	T (°C)	B (kg/m³)	A (kg/m³)	P (%)	ρ_0 (kg/m³)	ρ_{15} (kg/m³)	E (%)
Aubier	40	6,47	699,418	54,219	699,418	797,086	4,002
	50	5,288	694,048	53,73	694,048	769,484	3,286
	60	4,204	994,965	41,887	994,965	1059,457	0,548
	70	7,173	872,735	49,767	872,735	978,864	0,707
Duramen	40	2,2	315,125	78,992	315,125	319,127	7,976
	50	2,145	353,512	76,433	353,512	369,307	3,597
	60	2,322	349,904	76,673	349,904	366,06	3,864
	70	2,531	405,498	75,903	405,498	426,201	2,400

3.2 CARACTÉRISATION MÉCANIQUE

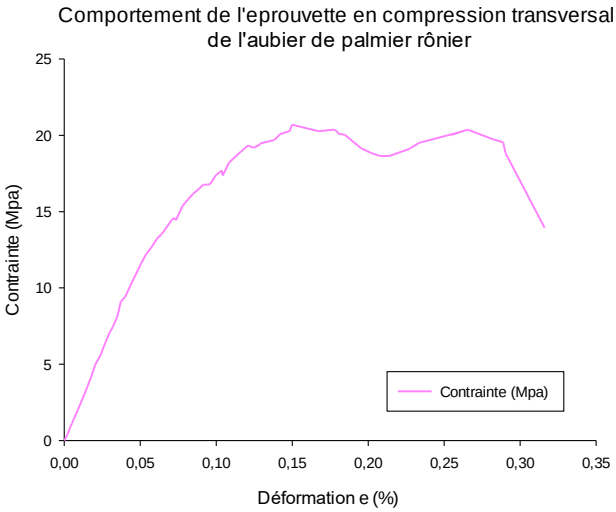
Les caractéristiques mécaniques sont calculées à partir des données acquises par les machines hydrauliques pendant les opérations de compression et de flexion trois points.

3.2.1 ESSAIS DE COMPRESSION

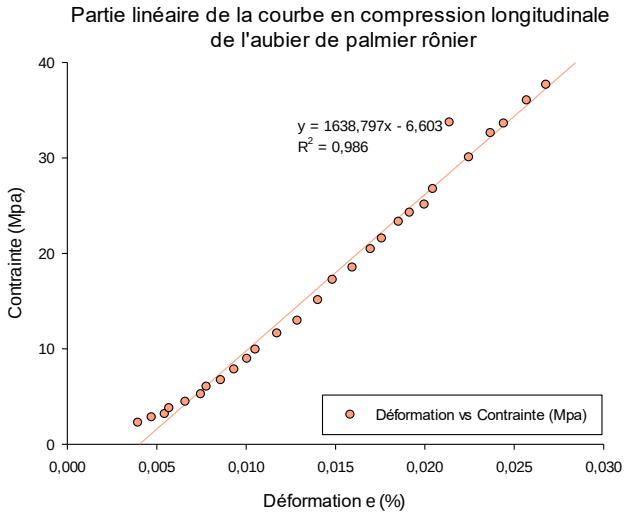
La figure 14 présente les courbes de compression de l'aubier du palmier rônier. Ces courbes des différents essais de compression donnent une allure identique à celle obtenue par Djoudi et al., 2018 représentée dans la figure 14a. Les courbes d'essai présentent des déformations du rônier en plusieurs points (figure 14b).Ces résultats sont intéressants et semblables à ceux obtenus par Ngargueudedjim et al., 2015.



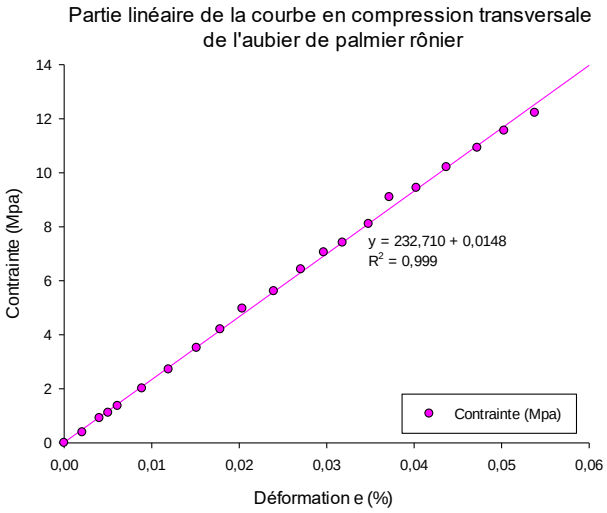
a- Compression longitudinale



b- Compression transversale



c- Partie linéaire de la courbe en compression longitudinale



d- Partie linéaire de la courbe en compression transversale.

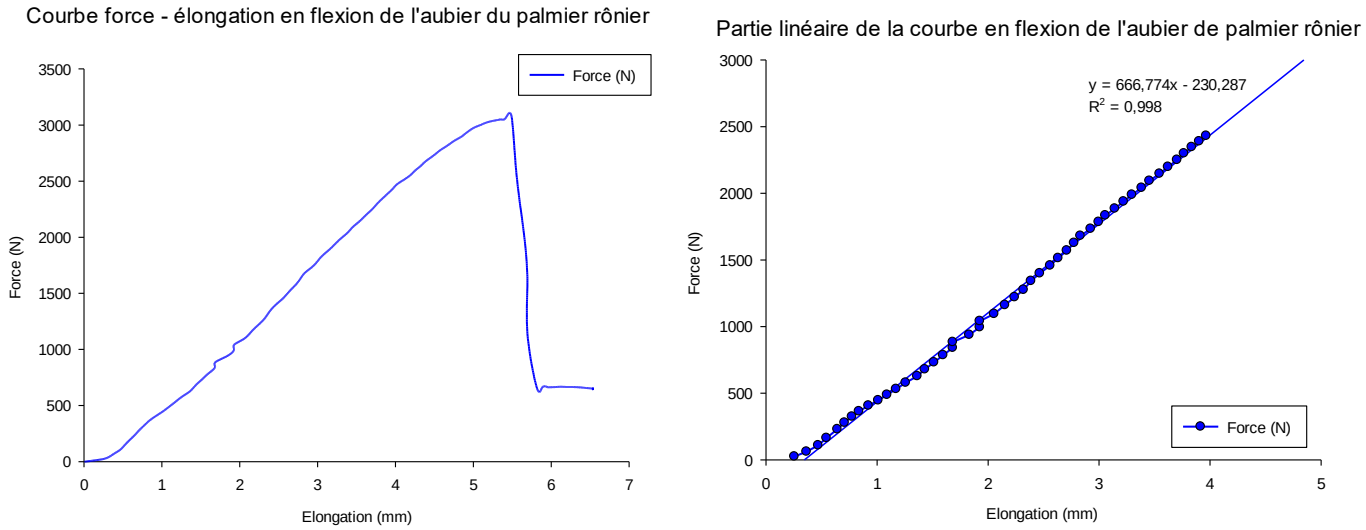
Fig. 14. Les courbes de compression de l'aubier du palmier rônier

Les courbes contrainte - déformation en compression ci-dessus montrent le caractère anisotrope du matériau testé. Dans le domaine élastique les éprouvettes conservent leur forme cubique pour les deux essais. Les moyennes des valeurs caractéristiques en compression dans les deux sens sont présentées dans le Tableau 2.

3.2.2 ESSAIS DE FLEXION TROIS POINTS

La figure 15 présente les courbes de flexion trois points de l'aubier du palmier rônier Les résultats des essais de flexion trois points de l'aubier du palmier rônier sont représentés sur les courbes de force-élongation de la figure 15. Ces courbes montrent deux phases d'évolution de la courbure en fonction de la contrainte. Une phase de croissance linéaire et une phase de déformation plastique où les

efforts décroissant se décomposent. Le Tableau 2 présente les moyennes des valeurs caractéristiques en flexion trois points de l'aubier du palmier rônier.



a- Courbe force - élongation en flexion

b- Partie linéaire de la courbe en flexion

Fig. 15. La courbe de comportement de l'aubier du palmier rônier en flexion

Tableau 2. Valeurs moyennes des caractéristiques mécaniques calculées en compression et en flexion de l'aubier du palmier rônier

Essai	Contrainte à la rupture (Mpa)	Déformation à la rupture (%)	Module d'élasticité (Mpa)
Compression longitudinale	58,290 ± 3,582	0,041 ± 0,018	1 386,470 ± 41,661
Compression transversale	29,210 ± 1,775	0,285 ± 0,103	209,418 ± 6,456
Flexion trois points	74,789 ± 5,171	2,845 ± 0,383	3 434,548 ± 82,195

Le Tableau 3 présente une comparaison des valeurs moyennes en compression et en flexion trois points de l'aubier du palmier rônier avec d'autres auteurs. On constate les résultats obtenus sont comparables à ceux de Ngargueudedjim et *al.,* (2015) et très supérieures à ceux de Djoudi et *al.,* (2018). Par contre, on note une importante dispersion des valeurs du module d'Young. Ceci pourrait être dû à plusieurs facteurs tels que la grande diversité des palmiers rôniers étudiés, la différence des dimensions des éprouvettes utilisées et les conditions expérimentales. Ce palmier rônier peut être utilisé comme renfort dans les matériaux composites et dans les éléments d'isolation.

Tableau 3. Comparaison des valeurs moyennes en compression et en flexion trois points de l'aubier du palmier rônier avec d'autres auteurs

	Contrainte à la rupture (Mpa)			**Auteurs**
	Compression longitudinale	**Compression transversale**	**Flexion 3 points**	
Palmier rônier	69,89 ± 3,64	14,78 ± 0,01	71	[30]
	58,290 ± 3,582	29,210 ± 1,775	74,789 ± 5,171	Présente étude
Palmier dattier	3,70 ± 0,42	3,85±0,04	10,33 ± 2,36	[31]
	Module de Young E (Mpa)			**Auteurs**
	Compression longitudinale	**Compression transversale**	**Flexion 3 points**	
Palmier rônier	5 603,22 ±129,80	285,83 ±13,39	6 333,89	[30]
	1 386,470 ± 41,661	209,418 ± 6,456	3 434,548 ± 82,195	Présente étude
Palmier dattier	0,224±0,069 (GPa)	0,067±0,014 (GPa)	0,585±0,001 (GPa)	[31]

3.2.3 CARACTÉRISATION THERMIQUE

L'effusivité thermique, la capacité thermique et la conductivité thermique sont calculées à partir des données expérimentales. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 4. Il ressort de ce dernier que l'aubier du rônier est un excellent isolant de la chaleur de faible conductivité thermique comprise entre 0,610 et 0,673 W/mK et d'une effusivité thermique comprise entre 441,246 et 466,345 J/m^{2}Ks1/2.

Tableau 4. Propriétés thermiques de l'aubier de palmier rônier

Echantillon	E		ρC_p		Λ		Ecart
	Effusivité thermique (J/m^{2}Ks1/2)		Capacité thermique volumique (J/m^{3}K)		Conductivité thermique (W/mK)		
	Simplifié	Complet	Simplifié	Complet	Simplifié	Complet	
B1	446,783	462,276	326122,720	320026,892	0,612	**0,668**	8,336
B2	449,215	458,230	322427,569	321028,457	0,626	**0,654**	4,313
B3	441,246	445,904	324331,557	326128,442	0,600	**0,610**	1,536
B4	446,721	466,345	326129,778	323327,009	0,612	**0,673**	9,028
Moyenne	445,991	458,189	324752,906	322627,700	0,613	**0,651**	**5,803**

On peut conclure que la conductivité thermique moyenne de ce bois est de 0,65 ± 5,803 W m^{-1} K^{-1}. Le Tableau 5 ci-dessous présente une comparaison des valeurs moyennes des caractéristiques thermiques de l'aubier du palmier rônier avec d'autres auteurs. Ces résultats obtenus et ceux de la littérature montrent une importante dispersion avec d'autres auteurs. Ceci est dû à la différence des méthodes de caractérisation et l'orientation de la source de chaleur par rapport à celle des fibres.

Tableau 5. Comparaison des propriétés thermiques des palmiers

Echantillon		E		ρC_p		Λ		Auteurs
		Effusivité thermique (J/m^{2}Ks1/2)		Capacité thermique volumique (J/m^{3}K)		Conductivité thermique (W/mK)		
		Simplifié	Complet	Simplifié	Complet	Simplifié	Complet	
		445,991	458,189	324752,906	322627,700	0,613	0,651	**Présente étude**
Borassus Aéthiopum	Axiale	682,01		/		/		[32]
	Radiale	600,63		/		/		
	Tangentielle	557,95		/		/		
		/		/		0,1176		[7]

4 CONCLUSION

Cet article a visé la caractérisation physico-mécanique et thermique du palmier rônier du type *Borassus aethiopum mart*. Dans un premier temps, la détermination expérimentale de la masse volumique en fonction de la teneur en eau a été réalisée par pondération et a montré l'influence de la masse volumique par la teneur en eau. A différente température de séchage, la masse volumique de l'aubier est comprise entre 750 et 1 000 kg.m^{-3} et celle du duramen varie de 300 à 400 kg.m^{-3}. Ces résultats permettent de classer le duramen du palmier de rônier étudié dans la catégorie des bois lourds et l'aubier dans celle des bois très lourds. Cette étude établie des corrélations améliorées qui expriment des approximations au premier ordre de la masse volumique et de la porosité en fonction du taux d'humidité des échantillons et de la température ambiante. Par ailleurs, une évaluation expérimentale la rétractabilité du palmier rônier a été réalisée dont celle volumique varie de 6 à 9 % et de 5 à 14 % respectivement pour l'aubier et le duramen. Par conséquent, l'aubier constitue la partie du rônier à faible retrait volumique, par contre le duramen est à fort retrait volumique. Cette étude montre en outre que la porosité diminue lorsque la masse volumique et la teneur en eau augmente. A l'état anhydre, la porosité de l'aubier est comprise entre 38 et 52 % alors que celle du duramen varie de 76 à 80 %. Deuxièmement, l'évaluation des caractéristiques mécaniques du *Borassus aethiopum mart.* fournie comme valeurs moyennes du module d'Young en compression longitudinale et transversale respectivement de 1 386,470 MPa et de 209,418 MPa. En flexion trois point il est de 3 434,548 MPa. La contrainte moyenne à la rupture en compression longitudinale et transversale est de 58,290 MPa et de 29,210 MPa respectivement. Cette valeur en flexion est de 74,789 MPa. Ces résultats permettent son d'utilisation dans le génie civil, les briques de terre comprimées et stabilisées et les adobes. Enfin, la valeur moyenne de l'effusivité thermique est de 458,189 J/m^{2}Ks$^{1/2,}$ la capacité thermique volumique est de 322 627,7 J/m^{3}K et la conductivité thermique est de 0,65 ± 5,803 W m^{-1}.K^{-1}. Cette valeur semble élevée à cause de la faible anisotropie à l'instar des essences de bois

tropicaux. En comparaison à d'autres matériaux structuraux, le palmier rônier peut être classé parmi les meilleurs matériaux pour le confort thermique dans un habitat à pression atmosphérique. Des analyses microstructurales de nos échantillons pourraient être affinées afin de rendre le palmier rônier du type *Borassus aethiopum mart*. plus compétitif.

REFERENCES

[1] P.-L. Giffard, « Le Palmier Ronier Borassus aethiopum Mart.«, *Bois et Forêts des Tropiques,* nº 116, p. 3-13, 1967.

[2] O. Eyog-Matig, O. Ndoye, J. Kengue, et A. Awono, *Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun*. Cotonou, Benin: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) Regional Office for West and Central Africa, 2006. Consulté le: 30 mars 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/19693.

[3] P. Bellouard, « Le rônier en A.O.F | Bois & Forets des Tropiques », *Bois for. trop.,* vol. 14, nº 14, Art. nº 14, juin 1950, doi: 10.19182/bft1950.14.a18408.

[4] W. Gschladt, « Le Rônier au Dallol-Maouri, Niger », *Bois for. trop.,* vol. 145, nº 145, Art. nº 145, oct. 1972, doi: 10.19182/bft1972.145.a19147.

[5] M. GIBIGAYE *et al.,* « Etude ethnobotanique et usages mécaniques du rônier (Borassus aethiopum mart) au Bénin », *Annales des Sciences Agronomiques,* vol. 13, nº 2, Art. nº 2, 2010.

[6] K. LOLO, S. TIEM, et S. BANAKINAO, « Valorization of the Borassus Aethiopum wood behavior in tensile and bending«, *Research Journal of Engineering Sciences,* vol. 6, nº 11, p. 20-29, déc. 2017.

[7] N. K. Ernest, D. Haman, et S. C. D'Ouazzane, « Determination of thermal and physical properties of palmyra wood (Borassus aethiopum mart.) from MALFANA in CHAD«, *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET),* vol. 6, nº 12, p. 49-58, déc. 2015.

[8] N. Kimtangar, G. Tao, et G. E. Ntamack, « Study of the correlation between fiber and mechanical properties of wood Borassus aethiopum mart. of CHAD«, *WOOD RESEARCH,* vol. 64, nº 2, Art. nº 2, 2019.

[9] K. Ngargueudedjim, A. Malgnan, G. E. Ntamack, B. Bassa, F. G. Gazawa, et S. C. D'Ouazzane, « Thermophysical and Mechanical Characterization of Composites from Wood Palmyra Residues«, *International Journal of Applied Engineering Research,* vol. 13, nº 2, Art. nº 2, 2018.

[10] J. B. Acheampong, « Physico - chemical properties and natural durability within Two varieties of Borassus aethiopum«, MSc. Wood Science and Technology, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi-GHANA, 2014. Consulté le: 13 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://ir.knust.edu.gh/handle/123456789/9466.

[11] American Society for Testing and Materials, « ASTM D143-94 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber ». 16 août 2017. doi: 10.1520/D0143-94.

[12] Normes Françaises et Européennes, « NF B51-016 Bois - Flexion statique - Détermination du module d'élasticité en flexion statique de petites éprouvettes sans défaut. » décembre 1987. Consulté le: 25 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-b51016/bois-flexion-statique-determination-du-module-delasticite-en-flexion-statiq/fa035907/3887.

[13] Normes Françaises et Européennes, « NF ISO 13061-17 Propriétés physiques et mécaniques du bois - Méthodes d'essais sur petites éprouvettes de bois sans défauts - Partie 17 : détermination de la… » 2017. Consulté le: 26 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-iso-1306117/proprietes-physiques-et-mecaniques-du-bois-methodes-dessais-sur-petites-epr/fa175055/80889.

[14] International Organization for Standardization, « ISO 13061-5 : Propriétés physiques et mécaniques du bois — Méthodes d'essais sur petites éprouvettes de bois sans défauts — Partie 5: Détermination de la résistance en compression perpendiculaire au fil ». 2020. Consulté le: 26 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.iso.org/fr/standard/74335.html.

[15] C. Babé, K. D. Kidmo, Ahmat Tom, R. R. Ngono Mvondo, B. Kola, et N. Djongyang, « Effect of neem (Azadirachta Indica) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks - ScienceDirect«, *Energy Reports,* p. 686-698, 27 juillet 2021.

[16] M. Nitcheu, P. Meukam, J. C. Damfeu, et D. Njomo, « Thermomechanical Characterisation of Compressed Clay Bricks Reinforced by Thatch Fibres for the Optimal Use in Building », *Materials Sciences and Applications,* vol. 09, nº 12, Art. nº 12, nov. 2018, doi: 10.4236/msa.2019.912066.

[17] J. C. Damfeu, P. Meukam, Y. Jannot, et E. Wati, « Modelling and experimental determination of thermal properties of local wet building materials«, *Energy and Buildings,* vol. 135, p. 109-118, janv. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.11.022.

[18] J. L. Nsouandele, J. G. Tamba, B. Bonoma, et L. Bikanda, « Experimental Determination of Volume Masses of Some Tropical Timbers Function of Their Moisture and the Temperature: Case Study of IROKO (ChloraphoraExcelsa), SAPELLI (EntandrophragmaCylindricum), SIPO (Entandrophragma Utile), BUBINGA (GuibourliaLessmannii), AZOBE (LophiraAlata), EBONY (DiospyrosCrassiflora)«, *International Journal of Science and Research (IJSR),* vol. 5, nº 12, Art. nº 12, 2016.

[19] S. EKOMY ANGO, D. LABASSOU HARA, BAKITA MOUSSAVOU, S. IKOGOU, et R. MOUTOU PITTI, « Cinétique de séchage des bois tropicaux : application à l'Okoumé, au Movingui et au paddouk«, présenté à 4èmes journées du GDR 3544 « Sciences du bois », Clermont-Ferrand, nov. 2015.

[20] K. Ngargueudedjim, L. Djidengar, G. E. Ntamack, et W. Nzie, « Etude des caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du pétiole du rônier du Tchad - ProQuest«, *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 26, n° 4, p. 1134-1146, juill. 2019.

[21] Y. E. N. Béhi, M. Mollet, O. Girardin, J.-P. Sorg, et F. Herzog, « Le vin de palme, aliment et source de revenu pour les populations rurales en Côte d'Ivoire | Palm Wine: dietary component and source of income for the rural population of the Ivory Coast », *Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen,* vol. 153, n° 4, p. 123-129, avr. 2002, doi: 10.3188/szf.2002.0123.

[22] K. Lolo, A. Afio, S. Banakinao, K. Attipou, et S. Tiem, « Contribution to the Determination of the Elasticity Modules of a Material (Borassus Aethiopum) based on an Experimental Method: Effort (Force) /Elongation or Moment/Degree ratio«, *International Journal of Engineering Research,* vol. 5, n° 10, 2019.

[23] J. Gérard, A. Edi Kouassi, C. Daigremont, P. Détienne, D. Fouquet, et M. Vernay, *Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains*. Montpellier: CIRAD-Forêt, 1998. Consulté le: 7 mars 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://agritrop.cirad.fr/515643/.

[24] M. Simo Tagne, B. Bonoma, et M. Siaka, « Experimental and theoretical study of drying kinetic, of diffusion coefficient and density of ayous«, *Physical and Chemical News,* vol. 49, p. 65-73, sept. 2009.

[25] V. Gbaguidi, A. Gbaguidi, M. Gibigaye, E. Adjovi, B. Sinsin, et T. Amadji, « Determination experimentale des principales caracteristiques physiques et mecaniques du bois du rônier (*borassus aethiopum* Mart.) d'origine beninoise », *Jnl Rech Sci,* vol. 12, n° 2, juill. 2011, doi: 10.4314/jrsul.v12i2.68046.

[26] K. Ngargueudedjim *et al.,* « Caractéristiques physiques du bois Rônier (Borassus aethiopum Mart., Arecaceae) du Tchad / Afrique Centrale«, *International Journal of Innovation and Applied Studies,* vol. 13, n° 3, Art. n° 3, nov. 2015.

[27] J. B. Acheampong *et al.,* « Physical properties of palmyra palm wood for sustainable utilization as a structural material«, *Maderas. Ciencia y tecnología,* vol. 24, n° 8, p. 1-14, 2022, doi: 10.4067/s0718-221x2022000100408.

[28] G. Jean, G. Daniel, C. Jean-Claude, P. Sébastien, et 40 Auteurs, *Atlas des bois tropicaux - Caractéristiques technologiques et utilisations,* 1ère édition. in Guide pratique. Quae, 2016. Consulté le: 6 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.quae.com/produit/1408/9782759225521/atlas-des-bois-tropicaux.

[29] B. Bonoma, M. Simo Tagne, et L. Monkam, « Influence de la température et de l'humidité sur la masse volumique et sur la porosité des bois tropicaux : Ayous, Baobab, Sapelli, Lotofa et Padouk«, *Physical Chemistry News,* p. 79-83, 2010.

[30] K. Ngargueudedjim *et al.,* « Mechanical characteristics of tall-palm (Borassus Aethiopum Mart., Arecaceae) of Chad / Central Africa ».

[31] T. Djoudi, M. Hecini, D. Scida, Y. Djebloun, et B. Guerira, « Caractérisation physique et mécanique du bois et des fibres issus d'une palme mûre de palmier dattier«, *Matériaux & Techniques,* vol. 106, n° 4, Art. n° 4, 2018, doi: 10.1051/mattech/2018056.

[32] C. Ahouannou *et al.,* « Determination experimentale et approches simplifies de modelisation des proprietes thermo-physiques du bois borassus (Palmier Ronier)«, *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé,* vol. 16, n° 2, Art. n° 2, 2014, doi: 10.4314/jrsul.v16i2.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1209-1220
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Influence de la parole des parents dans l'équilibre psychique des enfants de famille monoparentale dans la ville de Cotonou

[Influence of parents' speech on the psychic balance of children from single-parent families in the city of Cotonou]

Magloire Fortuné Landry Aitchedji[1], Sossa Irénée Tchaou[2], and Jean Tata Tossou[3]

[1]Psychologie et Sciences de l'Education et de la Formation, Université Nationale des Sciences, Technologie, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM), Ecole Normale Supérieure (ENS), BP: 72, Natitingou, Benin

[2]Formation Doctorale, Psychologie et Sciences d'Education, Université d'Abomey-Calavi (UAC), BP: 36, Abomey-Calavi, Benin

[3]Psychologie, Université d'Abomey-Calavi (UAC), BP: 36, Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Nowadays, faced with spatial, economic and environmental constraints, kinship relationships are transforming; is parenthood still experienced in the same way ? Sprawling, unlimited? The answer is that we are now seeing a restriction of the space of parenthood and a segmentation of community groups. From this point of view, parenthood is seen as a code of conduct, interpersonal skills and know-how which are expressed throughout daily situations in words, actions, sharing, emotions and pleasures, in recognition of the child., but also, in authority, requirement, coherence and continuity. The objective of this article is to analyze the influence of parents' words on the psychological balance of children from single-parent families in Benin. This is a descriptive cross-sectional study with an inductive aim. Individual interviews were carried out with the children, parents and resource persons on the basis of questionnaires relating to the influence of speech. Analysis of the data reveals that many children from single-parent families cannot stand being teased by their parent (19.62%). The child lacking affection or emotional rejection (18.35%). It is in the same wake that bad words (17.02%), comparisons (14.55%), unpleasant labels (12.02%), stigmatization (9.49%) and bad appreciations (6.96%). Thus, this study shows that children are influenced in their development by the words of their parent. So, by favoring kind words, appreciations, dialogue, communication, they will be able to contribute to the development and well-being of their children.

KEYWORDS: Influence, speech, parents, children, single parent family, communication.

RESUME: De nos jours, face aux contraintes spatiales, économiques et environnementales, les relations de parenté se transforment, la parentalité est-elle toujours vécue comme de la même manière ? Tentaculaire, illimitée ? La réponse est que l'on note désormais une restriction de l'espace de la parentalité et une segmentation des groupes communautaires. De ce point de vue, la parentalité se perçoit comme un code de conduite, de savoir-être et de savoir-faire qui se déclinent au fil des situations quotidiennes en paroles, actes, partage, émotions et plaisirs, en reconnaissance de l'enfant, mais également, en autorité, exigence, cohérence et continuité. L'objectif de cet article est d'analyser l'influence de la parole des parents dans l'équilibre psychique des enfants de famille monoparentale au Bénin. Il s'agit d'une étude transversale descriptive à visée inductive. Des entretiens individuels ont été effectués avec les enfants, les parents les personnes ressources sur la base de questionnaires relatifs à l'influence de la parole. L'analyse des données révèle que beaucoup d'enfants de famille monoparentale ne supporte pas les moqueries de leur parent (19,62%). L'enfant en manque d'affection ou de rejet affectif (18,35%). C'est dans le même sillage que se situent les mauvaises paroles (17,02%), les comparaisons (14,55%), les étiquettes désagréables (12,02%), les stigmatisations (9,49%) et les mauvaises appréciations (6,96%). Ainsi, cette étude montre que les enfants sont influencés dans leur développement par les propos de leur parent. Ainsi en privilégiant les propos bienveillants, les appréciations, le dialogue, la communication, ils pourront contribuer à l'épanouissement et au bien-être de leurs enfants.

MOTS-CLEFS: Influence, parole, parents, enfants, famille monoparentale, communication.

Corresponding Author: Magloire Fortuné Landry Aitchedji

1 INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Constituant un quart des familles avec enfant (s), les familles monoparentales sont particulièrement exposées aux situations de précarité en raison de ressources financières moindres et d'un risque de chômage plus élevé que celles formées d'un couple avec enfant (s). Elles sont d'autant plus fragilisées qu'elles dépendent souvent de pensions alimentaires pouvant représenter une part conséquente de leurs ressources financières et dont le versement n'est pas toujours assuré. Les parents isolés se heurtent aussi à des difficultés dans la gestion du quotidien, notamment dans la conciliation entre leurs vies professionnelle et familiale [1].

En France, parmi les familles monoparentales, 62 % considèrent que leur situation actuelle est bonne, contre 85 % des parents en couple et 77 % des personnes sans enfant (personnes vivant seules, en couple ou dans une autre configuration familiale). De plus, 55 % des parents isolés considèrent que leur situation est meilleure ou identique à celle de leurs parents, contre 71 % des parents en couple et 67 % des personnes sans enfant. De manière générale, les familles monoparentales sont un peu plus préoccupées par l'avenir: 50 % sont pessimistes à ce sujet contre 45 % parmi les autres ménages. Toutefois, elles ne sont pas beaucoup plus inquiètes que les parents en couple sur l'avenir de leur (s) enfant (s): 65 % contre 63 %. Par rapport aux autres ménages, les familles monoparentales considèrent plus souvent que la société est plutôt injuste (84 % contre 77 %) et « qu'il faut radicalement la changer » (31 % contre 26 %).

Plus de quatre parents isolés interrogés sur dix font partie des 20 % des ménages au niveau de vie le plus bas, c'est deux fois plus que les parents en couple. En conséquence, la dépendance des parents isolés aux prestations sociales est plus élevée que les autres ménages: 57 % d'entre eux déclarent percevoir des allocations logement et 23 % le RSA, contre respectivement 26 % et 8 % parmi l'ensemble des autres ménages. Globalement, 31 % d'entre eux se considèrent comme pauvres, soit trois fois plus que les couples avec enfants.

Paradoxalement, dans un passé récent les formes familiales en Afrique de l'Ouest répondent aux logiques de la parenté élargie. Ainsi, dans les systèmes de parenté patrilinéaire qui prévalent en Afrique de l'Ouest, les frères du père d'un enfant sont considérés comme étant en position de « Papa", les épouses des frères du Papa en position de « Maman ». Ceci signifie qu'un individu connaît son père et sa mère biologique mais sait que plusieurs adultes qui lui sont liés sont également des parents sociaux et sont susceptibles d'exercer vis-à-vis de lui des rôles dévolus aux seuls géniteurs des enfants dans la société occidentale [2]

La parentalité est donc conçue comme quelque chose d'élargie et le devoir de co-veillance s'inscrit dans les responsabilités tacites attribuées par les normes sociales à chaque adulte. L'éducation revêt un caractère collectif et social qui fait qu'elle relève non seulement de la responsabilité de la famille, mais aussi de celle des membres d'un même village, d'un même quartier, d'une même ethnie [3].

De nos jours, face aux contraintes spatiales, économiques et environnementales, les relations de parenté se transforment, la parentalité est-elle toujours vécue comme de la même manière ? Tentaculaire, illimitée ? La réponse est que l'on note désormais une restriction de l'espace de la parentalité et une segmentation des groupes communautaires. En effet, la famille a beaucoup évolué au cours des dernières années et des changements profonds ont été remarqués (éclatement de la famille nucléaire, famille recomposée, famille monoparentale, etc.).

La monoparentalité, les nouvelles formes polygamiques, l'augmentation des divorces, l'augmentation des naissances hors mariages sont autant d'indicateurs forts de ces mutations. Les places, rôles, devoirs et fonctions des parents sont ainsi réinterrogés.

Aujourd'hui, il n'existe pas de théorie définitive, consensuelle et inclusive de la parentalité, mais on retrouve dans la littérature plusieurs tentatives de conceptualisation. On note que les dimensions de la relation parent-enfant ont été les plus souvent étudiées avec des différences individuelles dans le bien-être de l'enfant à partir de facteurs tels que le soutien ou la réceptivité, conflit/rejet, et le degré de gestion et de contrôle sur le comportement de l'enfant [4] et [5]. Par exemple, chez [6], la parentalité est assimilée à un processus psychique évolutif faisant accéder un homme et/ou une femme à un ensemble de fonctions parentales, alors que pour [7], celle-ci s'apparente au métier d'être parent. [8] va plus loin en indiquant que la parentalité peut se définir comme étant l'ensemble des réaménagements psychiques et affectifs qui permettent de répondre aux besoins de leurs enfants à trois niveaux: le corps, la vie affective et la vie psychique.

De ce point de vue, la parentalité se perçoit comme un code de conduite, de savoir-être et de savoir-faire qui se déclinent au fil des situations quotidiennes en paroles, actes, partage, émotions et plaisirs, en reconnaissance de l'enfant, mais également, en autorité, exigence, cohérence et continuité [9].

En effet, au Bénin, aucune étude n'aborde véritablement les différents troubles psychiques liés à la parole des parents et les facteurs associés au sein de la famille monoparentale. En conséquence, Il n'existe pas de données sur les indicateurs de déséquilibre psychique des enfants et leur particularité. Il est également important d'analyser les différents mobiles de l'influence de la parole des parents selon une approche clinique, d'examiner les répercussions de l'influence de la parole des parents sur les enfants d'une famille monoparentale. Tout ceci permettra de proposer des solutions stratégiques à l'endroit du parent pour la gestion des émotions psychosociales, et pour améliorer l'épanouissement personnel de l'enfant. Tout ceci nous a conduit aux questionnements suivants: Comment peut-on comprendre l'influence de ces paroles fortes dans le développement psychique de l'enfant ? Par quels autres moyens pourrait-on montrer à son enfant son désaccord au lieu de prophétiser une malédiction dans sa vie ? Jusqu'à quand ces paroles fortes pourraient continuer à influencer le développement psychique et social de l'enfant ? Qu'est-ce les parents pourraient faire pour se maîtriser face

aux difficultés d'éducation que les enfants les ramènent en situation de monoparentalité ? Que pourrait-on faire pour éviter ou anéantir les effets nuisibles des prétendues malédictions et permettre à l'enfant victime de s'épanouir dans son développement psychique et social ?

Ces différents questionnements ont constitué le point de départ de cette étude qui vise à évaluer l'influence de la parole des parents dans l'équilibre psychique des enfants au sein de la famille monoparentale à Cotonou. Les données de cette étude permettront un meilleur accompagnement et une meilleure prise en charge en cas de besoin, de l'enfant en vue de la préservation de sa santé psychique en famille.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 NATURE DE L'ÉTUDE

Il s'est agi d'une étude transversale. La recherche est exploratoire de l'évaluation de l'influence de la parole des parents dans l'équilibre psychique des enfants de famille monoparentale dans la ville de Cotonou. L'étude a été conduite suivant une approche inductive grâce aux méthodes d'investigations de types quantitatives et qualitatives. Les données ont été recueillies durant les mois de Janvier – Octobre 2019 dans les différents dispositifs de l'ONG "Terres Rouges Bénin" de Cotonou. La formule de Schwartz a été utilisée pour déterminer la taille minimum de l'échantillon qui est de 119. Notre effectif enquêté est de 135.

2.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNÉES

Compte tenu du sujet de recherche, trois catégories de groupes ont été ciblés. Il s'agit des enfants de famille monoparentale âgés de 10 ans à 18 ans, les parents et de personnes ressources.

Avant de constituer notre échantillon, nous avons fait un certain nombre de travail avec les enfants. En effet, il s'agit de notre participation aux différentes activités des dispositifs. Cela nous a donné l'occasion de faire des entretiens avec les enfants.

Notre échantillon, concernant l'étude quantitative, est réalisé en tenant compte premièrement de tous les enfants qui sont suivis dans la période de recherche (du 03 Janvier au 31 Octobre 2019) dans les différents dispositifs de l'ONG "Terres Rouges Bénin" de Cotonou. Dans le but d'avoir des informations fiables, nous nous sommes aussi rendus dans certaines familles monoparentales, où nous avons eu des entretiens avec des enfants. Ces différents entretiens nous donnent un total de cent quatre-vingt-cinq (185) enfants écoutés. Après avoir appliqué nos critères de sélection à ce nombre d'enfants, nous avons finalement retenu un total de cent trente-cinq (135) enfants qui sont effectivement de famille monoparentale. Ces enfants sont non seulement soumis au questionnaire de notre enquête, mais nous avons aussi eu des entretiens avec chacun d'eux afin de recueillir le maximum de propos des parents qui les ont marqués. Ces différentes entrevues nous ont permis de toucher du doigt les réalités que vivent les enfants issus de famille monoparentale.

Pour l'étude qualitative, ce choix est justifié par la nature de la recherche qui tend beaucoup plus à la compréhension d'un phénomène social étudié. Elle nous a facilité le recueil et l'analyse des données obtenues par les outils de collecte qui sont l'entretien, l'observation participante et le questionnaire.

Ainsi, nous avons procédé à un échantillonnage en sélectionnant des parents de famille monoparentale disponibles pouvant nous donner des informations exploitables sur les enfants dans le cadre de cette étude. Pour ce faire, nous avons eu à nous entretenir avec cinq (05) responsables des dispositifs qui nous ont mis en contact avec onze (11) parents de famille monoparentale. Par ailleurs, sept (07) personnes ressources à savoir deux (02) prêtres de l'église catholique, deux (02) pasteurs des églises évangéliques et trois (03) sages gardiens de la tradition nous ont aidés à comprendre et à analyser le contenu des propos révélés par les enfants de famille monoparentale.

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Pour étudier la stabilité de l'association entre l'équilibre psychique et les variables explicatives, une analyse de contenu a été introduite simultanément dans un modèle de traitement statistique sur la base des données recueillies afin de reproduire quantitativement les résultats de terrain. Les estimations du sens, de la force et de la stabilité de l'association ont été déterminées grâce à la version 17.0 du logiciel Statistical Package for the Social Science (SPSS pour Windows) et l'édition 2010 de la suite bureautique de Microsoft Office.

2.4 LIMITES

L'effectif réduit de l'échantillon qui ne favorise pas la généralisation des résultats à l'échelle de la population des enfants de famille monoparentale dans la ville de Cotonou. Aussi, l'utilisation unique de la technique de collecte des données par le questionnaire serait

des limites liées à ce travail de recherche. D'autres difficultés sont liées à l'accès aux ouvrages qui ont abordé la vie des enfants en situation difficile en général et de l'influence des propos des parents sur les enfants de famille monoparentale en particulier. Cependant, nous avons œuvré pour avoir le maximum d'informations. Quant aux réticences de certains enfants à collaborer, notre participation à certaines de leurs activités afin de les mettre en confiance avant d'effectuer les entretiens individuels nous conforte dans la fiabilité des résultats obtenus en vue de leur extrapolation au vécu des enfants de famille monoparentale dans la ville de Cotonou.

3 PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Les travaux effectués ont permis de recenser quelques aspects de la parole des parents de famille monoparentale qui ont des répercussions sur le développement psychosocial des enfants. Cet article présente d'une part, la répartition des enfants enquêtés selon l'âge, le sexe et le niveau d'instruction, et d'autre part, quelques aspects montrant l'impact ou l'influence de certaines paroles dans la vie des enfants de famille monoparentale.

3.1 RÉSULTATS QUANTITATIFS

Les données socio-démographiques des enquêtés se présentent comme suit:

3.1.1 RÉPARTITION DES ENQUÊTÉS SELON L'ÂGE

La figure 1 présente la répartition des enquêtés selon leur âge.

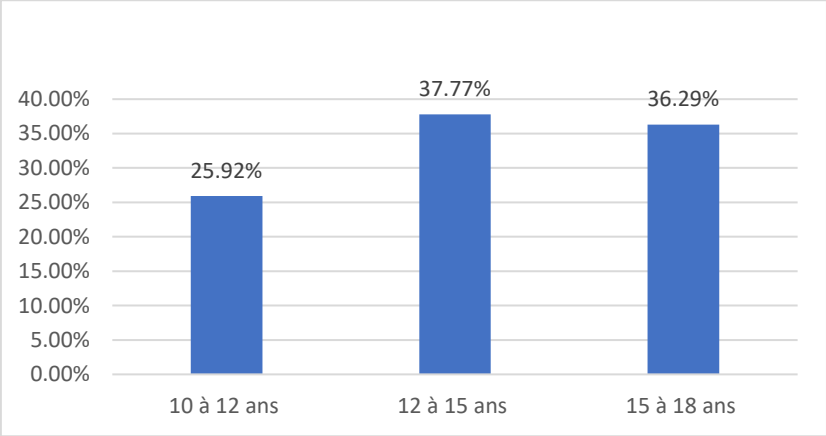


Fig. 1. Répartition des enfants enquêtés selon leur âge

Source: Données de l'enquête

Les enquêtés dont l'âge se situe entre 12 et 15 ans ont l'effectif le plus élevé, viennent ensuite ceux dont l'âge se situe entre 15 et 18 ans et enfin l'effectif le plus faible revient aux enfants dont l'âge se situe entre 10 et 12 ans. Le pourcentage le plus élevé est celui des enfants dont la tranche d'âge se situe entre 12 et 15 ans. Cela est suivi du pourcentage des enfants dont la tranche d'âge se situe entre 15 et 18 ans. Le pourcentage le plus faible est celui des enfants dont la tranche d'âge se situe entre 10 et 12 ans.

3.1.2 REPARTITION DES ENQUETES SELON LE SEXE

La figure suivante montre la répartition des enquêtés selon leur sexe.

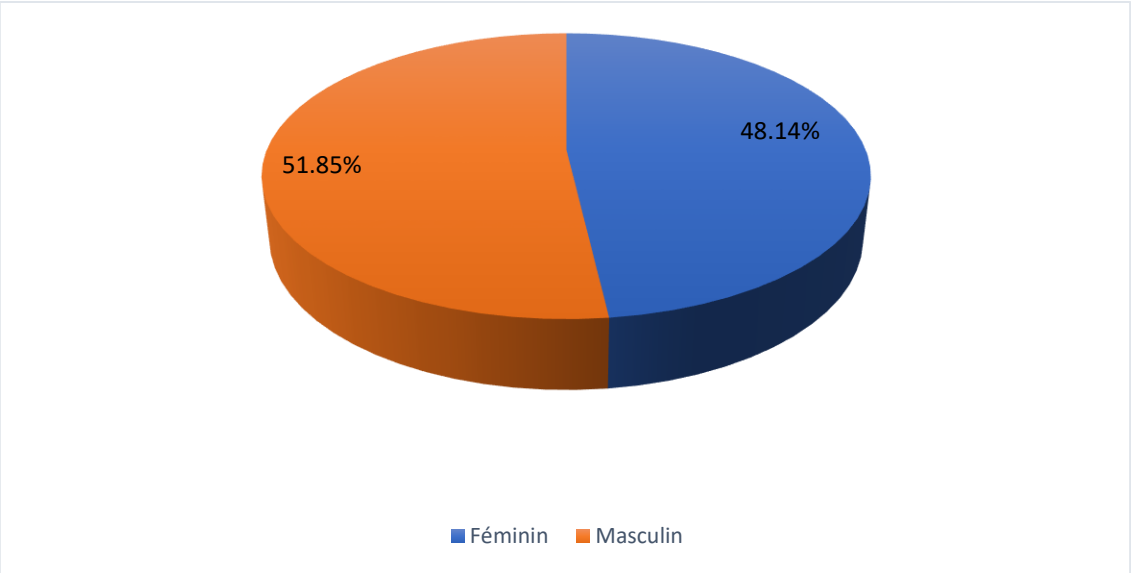


Fig. 2. Répartition des enfants enquêtés selon le sexe

Source: Données de l'enquête

Ce graphique montre qu'il y a 51,85% enfants de sexe masculin contre 48,14% de sexe féminin. Ce qui donne un ratio de 1,07 en faveur des garçons.

3.1.3 REPARTITION DES ENFANTS ENQUETES SELON LE NIVEAU D'INSTRUCTION

La figure 3 présente le niveau d'instruction des enquêtes

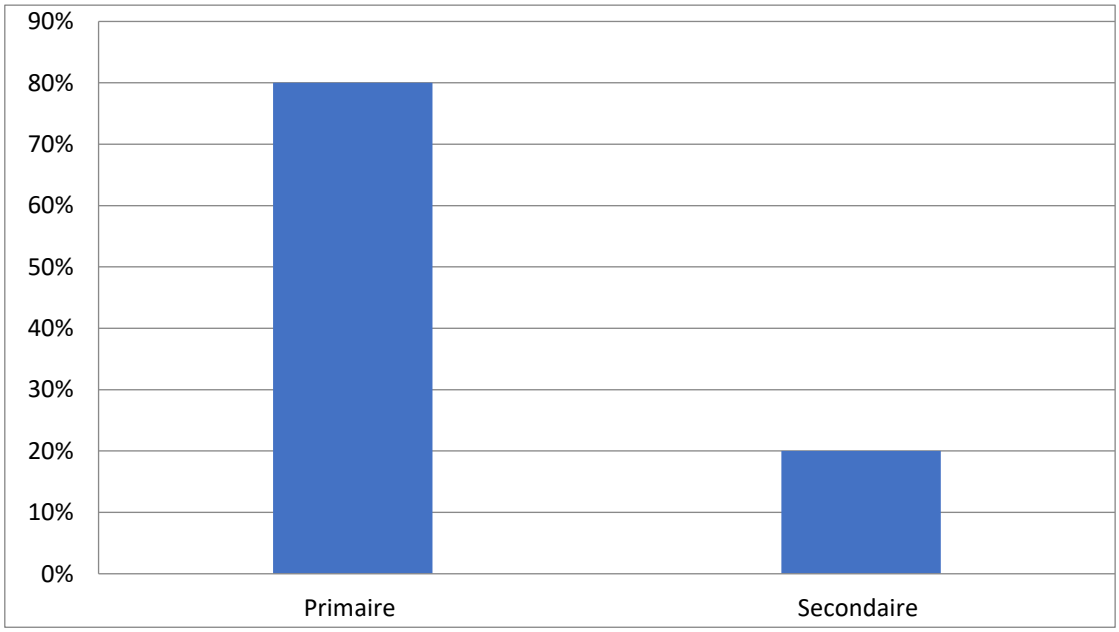


Fig. 3. Répartition des enfants enquêtés selon le niveau d'instruction

Source: Données de l'enquête

L'observation de ce graphique montre que les enfants de famille monoparentale, que nous avons rencontrés au cours des enquêtes, dans la majorité des cas, ont arrêté le cursus scolaire au niveau primaire.

3.1.4 REPARTITION DES PROPOS INFLUENTS SELON LES ENQUETES

La répartition des propos des parents de famille monoparentale sur les enfants sont présentées sur la figure suivante:

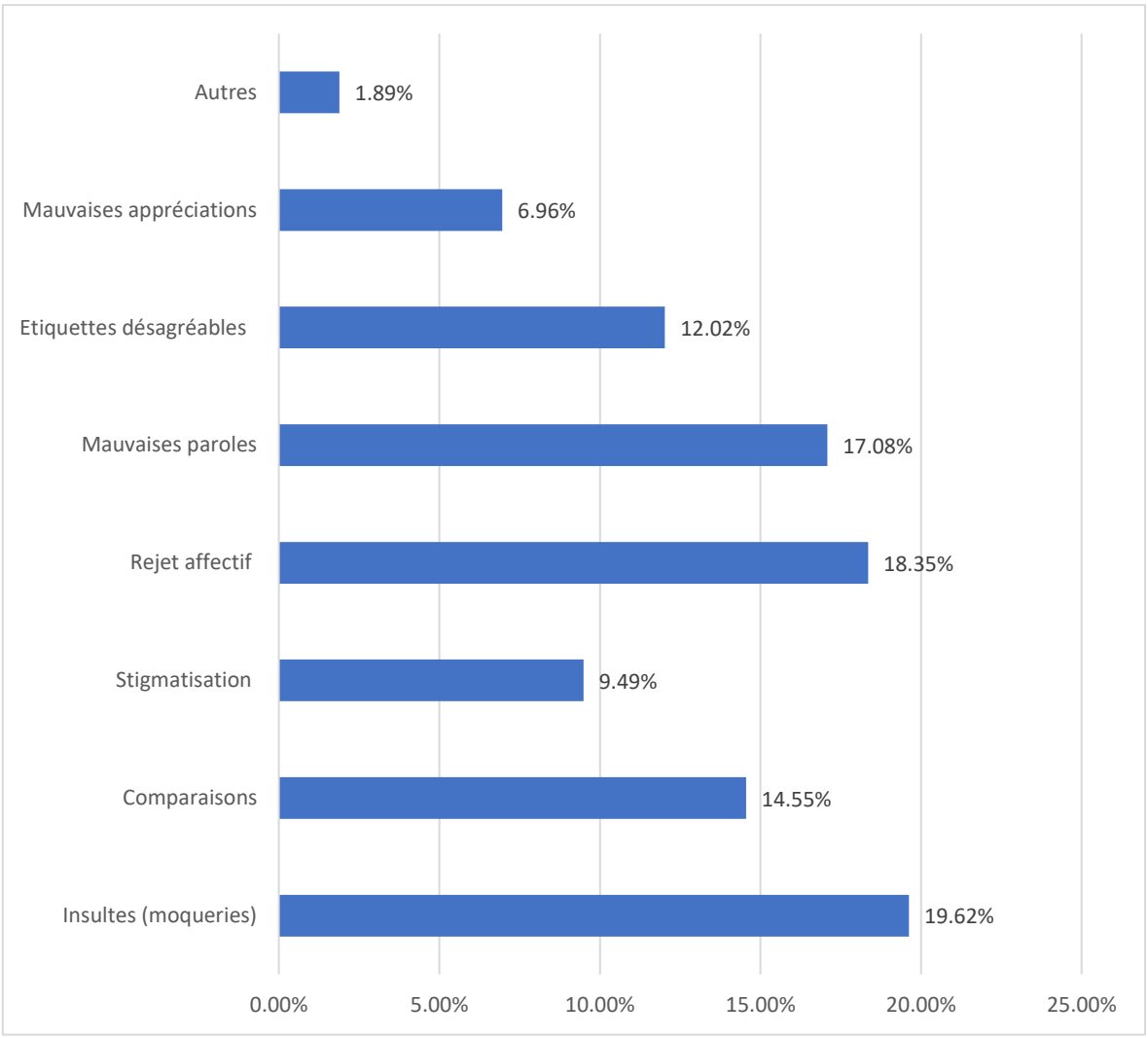


Fig. 4. Répartition des propos influents selon les enquêtés (158)

Source: Données de l'enquête

L'analyse de cette figure laisse voir clairement que les enfants sont fortement influencés dans leur développement par les propos de leur parent. En effet beaucoup d'enfants de famille monoparentale n'arrive pas à accepter ni supporter les moqueries de leur parent. C'est ce qui fait que le pourcentage le plus élevé est celui des moqueries: (19,62%). Ce sont des humiliations qui les marquent fortement et qui les amènent à se poser des questions en ce qui concerne leur filiation à de telle personne surtout si ces moqueries viennent du père. Les enfants de familles monoparentales en parlent et se demandent si une mère ou un père pourrait prononcer ces genres de moqueries envers leurs propres enfants. Cela les amène souvent à douter de leur identité et ils commencent par chercher des informations sur leur origine. Dans ces conditions, pour montrer leur mécontentement, certains enfants n'obéissent plus à leur parent, s'opposent à toutes décisions, avec des écarts de langage. Le parent aussi se décourage et ne lui témoigne plus de son affection. L'enfant ne se sentant plus aimé par ce parent se dit être victime de manque d'affection ou de rejet affectif. Leur pourcentage est de (18,35%). C'est dans le même sillage que se situent les mauvaises paroles (17,02%), les comparaisons (14,55%), les étiquettes désagréables (12,02%), les stigmatisations (9,49%), les mauvaises appréciations (6,96%). En effet, les paroles perturbent pour longtemps la vie des enfants de famille monoparentale pour plusieurs raisons. En réalité, la situation de monoparentalité n'est pas facile. C'est dans ces conditions que l'enfant se construit en faisant confiance à un seul parent. Par contre, l'humiliation est aussi très utilisée à des fins « *éducatives* ». Ces VEO (Violences Educatives Ordinaires) sont présentes à la fois dans le contexte familial et lorsque l'enfant se retrouve à l'extérieur, notamment en collectivités [10]. Mais, avec son niveau de compréhension des évènements de la vie, il n'arrive pas à

comprendre ce qui peut amener un parent à avoir des paroles aussi cruelles envers sa progéniture. De même pour l'enfant, les étiquettes désagréables, les mauvaises appréciations sont des preuves que le parent ne l'aime pas et ne l'affectionne non plus. C'est pour cela qu'il lui révèle sans cesse que les aspects négatifs de ses comportements. Par ailleurs, sa présence aux côtés d'une telle personne est une source d'insécurité et de menace pour sa vie. Alors, l'enfant commence par chercher sa propre sécurité en se mettant ensemble avec des gens qui le comprennent, ne l'insultent pas, ne le comparent pas à d'autres. Ces comportements de l'enfant énervent le parent qui fait une violence psychologique sur lui: privation de repas, cessation du soutien financier, intensification des paroles violentes, etc. Ces différents aspects de la relation parent-enfant affectent les enfants et perturbent leur développement mental [11]. Cela a pour conséquence directe des fugues répétées, de manque d'attention et de concentration, des agitations et précipitations dans les actions.

3.1.5 REPARTITION DES INFLUENCES PSYCHOLOGIQUES SELON LES ENQUETES

La figure 5 représente la répartition des influences psychologiques selon les enquêtés

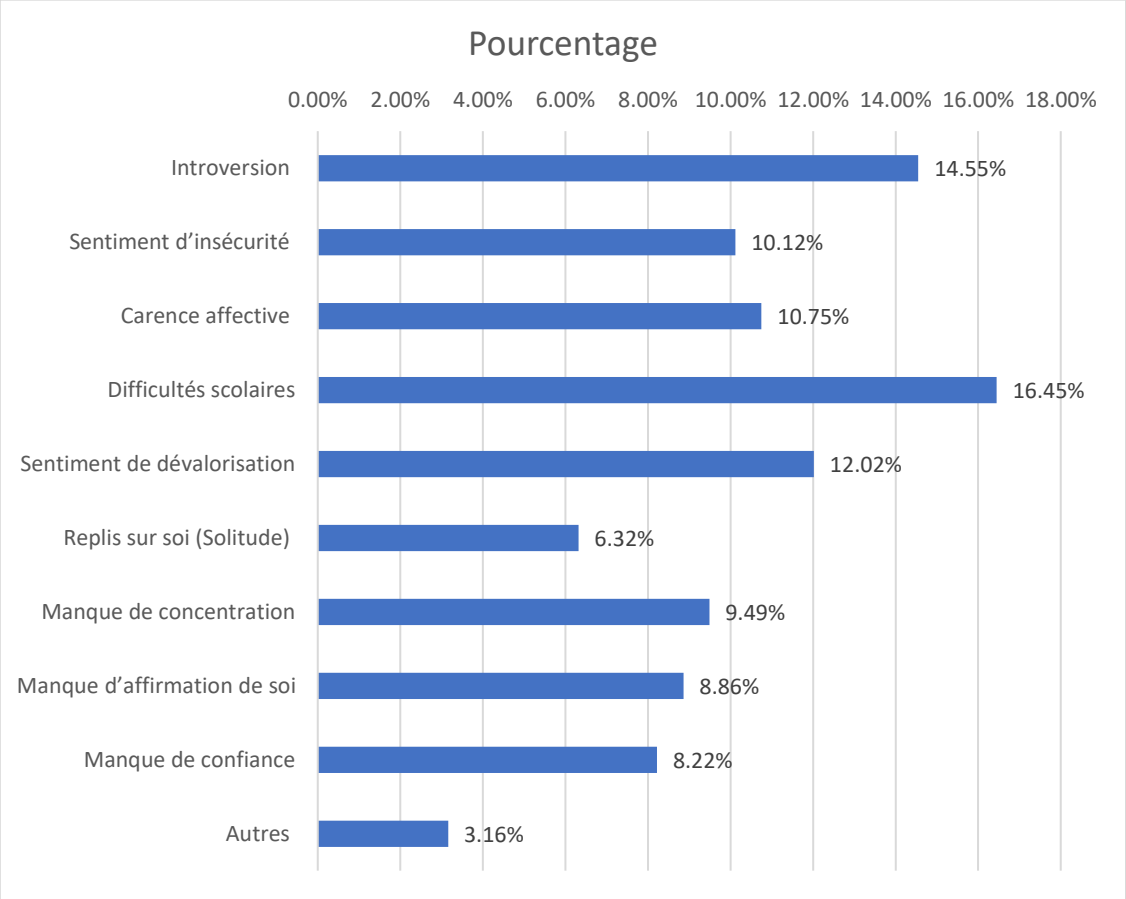


Fig. 5. Répartition des influences psychologiques selon les enquêtés

Source: Données de l'enquête

De l'analyse de cette figure, il ressort clairement que le pourcentage des enfants ayant des difficultés scolaires vient en première position. En effet, ce sont les conditions de vie et l'ambiance qui règnent dans la plupart des familles monoparentales qui perturbent le cursus scolaire des certains enfants. Ce sont des enfants qui pour la plupart du temps sont exposés à de la violence (verbale et physique). En milieu éducatif, les enfants ont tendance à reproduire de la violence physique et verbale sur leur pair. Ils sont donc régulièrement punis et stigmatisés par leur comportement. Cela leur crée des difficultés d'adaptation et d'apprentissage. Par ailleurs, les parents de famille monoparentale comparent leurs enfants aux autres qui viennent dans un foyer uni ou du moins dans lequel les deux parents vivent ensemble. Ils pensent qu'ils fournissent autant d'effort pour avoir des résultats satisfaisants que les autres enfants sur le plan scolaire. Ils insultent leur enfant par leur fainéantise et leur paraisse. Les enfants de famille monoparentale finissent par perdre leur estime de soi et ne font plus suffisamment d'effort. Conséquence: d'insuffisance de résultat en insuffisance de résultat, les enfants finissent par abandonner l'école.

Certains enfants de famille monoparentale, ont un sentiment global de malaise et de mal être en écoutant chaque fois des reproches et ne voyant près que jamais leur effort apprécié. Cela les amène à développer un sentiment de dévalorisation lié soit à leur rang social, à leur condition de vie, leur situation ou encore à un manque d'information par rapport à leur origine et leur culture. Vivre cette angoisse au quotidien amène certains enfants à devenir arrogants envers le seul parent qui assure leur prise en charge. Ce manquement ou les écarts de langage leur coûtent des sévices corporels. Ils reçoivent cette correction infligée comme un manque d'affection et de protection qui augmentent leur degré d'insécurité.

Comment réagissent-ils souvent ces enfants de famille monoparentale qui éprouvent des sentiments d'insécurités ?

En effet, parmi les adolescents qui vivent ce sentiment d'insécurité et de manque d'affection, beaucoup se lance très tôt dans une relation amoureuse à la recherche de sentiment d'affection. Mais le plus souvent, cet élan se solde rapidement par des échecs qui viennent accroitre le sentiment d'insécurité et le manque d'affection vécu au sein de la famille. A partir de ce moment, ils ne font plus confiance à personne.

D'autres, dans la recherche d'un sentiment d'appartenance, cherche à nouer l'amitié avec des personnes plus âgées ou à intégrer les petites bandes qui regroupent des jeunes de moralité douteuse. Il s'agit le plus souvent des adolescents et jeunes qui s'adonnent à de l'alcool et de la drogue et perturbent la quiétude des paisibles populations par des actes de banditisme et de délinquance.

Dès que les parents remarquent ces genres de fréquentations et les comportements qui en découlent, ils n'hésitent pas à montrer leur mécontentement à leur enfant. Ainsi, sous l'émotion et à travers une violence verbale, le parent prononce des mauvaises paroles à l'endroit de l'enfant. Ce dernier pense que c'est la preuve que ses parents ne l'aiment pas. Il y en a qui vont jusqu'à dire: « Tout ce que je fais dans cette maison est mauvais ».

Il y a tout de même certains enfants de famille monoparentale qui ne tombent pas dans ces vices liés le plus souvent à leur vulnérabilité et à leur condition de vie familiale. Mais ils grandissent en ayant une piètre opinion d'eux-mêmes, un complexe d'infériorité, un sentiment de dévalorisation. Nous pouvons citer l'exemple de ce jeune de 19 ans qui, après s'être battu seul avec le soutien d'une ONG, rentre en famille et présente son attestation de fin de formation en boulangerie à son père qui lui dit: « ça, c'est une formation ? Ce n'est pas ce que je veux pour toi ». Ce jeune se retourne déçu et vient dire à son éducateur de l'ONG: « tout ce que je fais est déprécié, ma présence dans la vie ne sert à rien. Je ne reçois jamais des félicitations ou d'affection quel que soit ce que je fais »

La parole de ce père a augmenté le degré de dévalorisation de ce jeune qui a quitté les rayons de la structure de protection et s'est retourné dans le cercle des toxicomanes.

Nous ne voulons pas dire que la monoparentalité est la seule qui entraine des sentiments d'insécurité et de dévalorisation. Mais quelle qu'en soit la cause, un sentiment d'insécurité prive les enfants et adolescents de leur épanouissement, leur plaisir et joie et nuit à leur vie relationnelle avec les autres.

C'est le moment d'exposer quelques usages de propos qui ont des impacts négatifs sur les enfants de famille monoparentale qui vivent déjà dans une certaine précarité qui augmente leur vulnérabilité.

3.2 ASPECTS QUALITATIFS DE LA RECHERCHE

Les résultats présentés dans cette rubrique proviennent de l'exploitation des informations collectées au cours des différents entretiens de l'enquête du terrain. Il s'agit de quelques cas qui montrent la réaction de certains parents de famille monoparentale et leur influence sur les enfants.

3.2.1 PRESENTATION DU CAS 1: POUR LE RESPECT DE LA DIGNITE DE L'ENFANT ET LA CONFIDENTIALITE, NOUS L'APPELONS ICI PAR LE PRENOM MAHOUSSI

Mahoussi est un enfant de parents séparés pris en charge par ses grands-parents depuis sa tendre enfance. Il est âgé de 19 ans. L'histoire a révélé que son père n'a jamais accepté être auteur de la grossesse dont il est issu. C'est plutôt son grand père qui a remarqué la ressemblance physique et a accepté l'enfant comme son petit-fils. L'enfant est plus attaché à ses grands-parents qui prennent soin de lui. Scolarisé, il a très tôt abandonné l'école suite à des échecs répétés.

Ses grands parents l'ont mis aux côtés d'un mécanicien moto. Mahoussi resta dans l'atelier pendant plus de deux (02) ans et a commencé par avoir quelques habiletés en mécanique moto. Un jour, l'enfant est dans son atelier et aperçoit son père. Il se précipite pour le saluer et lui demanda de l'argent. Son père lui aurait répondu en ces termes: « ne me demande plus jamais de l'argent, je ne suis pas ton père, va le chercher ailleurs ». Très touché par cette réponse du père, l'enfant quitta l'atelier et se rendit à la maison pour raconter son vécu à son grand père puis s'est mis à pleurer. Il a été consolé par ses grands-parents mais il n'est plus allé en atelier ce jour. Son patron qui a été témoin de la réaction du père, s'est rendu à la maison pour le soutenir. Le lendemain, il a repris son apprentissage. Après quelques jours, le patron a commencé par remarquer des mauvais comportements au niveau de l'enfant: désobéissance au patron, écarts de langage envers les clients, des petits vols, des bagarres entre les autres apprentis, etc. Suite aux multiples reproches et aux menaces de châtiments corporels pour corriger ces mauvais comportements, Mahoussi décida un beau matin de ne plus continuer cette

formation. Il se promène de quartier en quartier tout au long de la journée dans l'oisiveté. Pour que cela ne perdure pas, ses grands-parents ont décidé à nouveau de l'inscrire en maçonnerie. Il a débuté cette formation mais il a abandonné trois (03) mois plus tard suite à des difficultés sur son lieu d'apprentissage avec d'autres apprentis**.** Mahoussi devient violent, frappe sans cesse les enfants de son âge, vole, découche et revient après quelques jours. Ses grands-parents le cherchent pendant longtemps avant de le retrouver.

L'enfant a multiplié ses comportements et a rejoint un groupe d'enfants de son âge dans le marché Tokpa. Fatigués, ses grands-parents ne vont plus à sa recherche. Il vit dans la rue, travaille pour subvenir à sa faim et dort sous un pont exposé à tous les dangers.

Un jour, un travailleur social le rencontre et lui propose les services de son institution. Mahoussi a accepté et a été accueilli en 2012 où il disait qu'il a 12 ans. L'institution a fait un travail avec ses grands-parents qui a débouché sur une réintégration familiale puis une reprise de la formation en mécanique moto. Mais quelques jours après, Mahoussi a quitté l'atelier avec un billet de Mille (1000) Francs dans lequel il devrait retirer deux (200) cent francs CFA pour son petit déjeuner. Il revient dans la rue. L'institution va le chercher, invite ses grands-parents et son patron pour des séances de compréhension et de résolution de difficultés. Mahoussi décide de reprendre son apprentissage chez le même patron en vivant auprès de ses grands-parents. Un mois après cette réintégration, il a de nouveau quitté et est retourné dans la rue. Cette fois-ci, il refuse de rester en institution et vit dans la rue avec les jeunes de son âge.

Nous nous arrêtons à ce niveau pour l'histoire du jeune. Comment peut-on comprendre la situation de cet enfant ?

C'est un enfant qui jusqu'à présent ne connaît pas sa mère puisque celle-ci l'avait abandonné depuis qu'il avait 2 ans. Cela fait de cet enfant un être fragile et vulnérable parce que n'ayant pas bénéficié suffisamment de l'affection maternelle. Même si les grands parents ont joué un rôle très important dans la vie de leur petit-fils, certains besoins, notamment maternels restent encore insatisfaits. Donc la figure d'attachement direct de cet enfant reste son père. A cette fragilité de l'enfant, vient s'ajouter les propos de son père. « Ne me demande plus jamais de l'argent, je ne suis pas ton père, va le chercher ailleurs » Pour mieux comprendre l'attitude de l'enfant, nous nous appuyons sur la théorie de l'attachement [12]. Cette théorie postule qu'un changement brusque et soudain affecterait dangereusement la vie de l'individu. Selon la théorie de l'attachement, la perte soudaine d'une figure d'attachement pourrait détruire les sentiments de sécurité d'un individu, provoquer un état d'hypervigilance. Donc cette situation a des effets négatifs sur non seulement le comportement mais aussi sur la santé des enfants victimes.

3.2.2 PRÉSENTATION DU CAS 2

A travers la présentation de ce cas, nous voudrions montrer comment les paroles violentes peuvent impacter la vie et le développement des enfants.

Il s'agit du cas d'une fille que nous nommons Aka, âgée de 16 ans, fille unique de l'union de ses parents. Elle avait 5 ans quand ses parents se sont séparés. Elle était prise en charge par sa grande mère paternelle qui vivait dans la même maison que son père à l'époque. Cette fille, sur le plan matériel, ne manquait de rien. Son père luttait beaucoup pour satisfaire à ses besoins basiques. A 8 ans, elle a demandé à rendre visite à sa mère qui s'était déjà remariée et a d'autres enfants. Le père s'est opposé à cette demande de sa fille. Le père l'a menacée de renvois si elle marche au travers de sa parole. Cette réaction du père a surpris sa fille. Elle a cherché à convaincre en vain sa grand-mère pour avoir cette autorisation. Sa relation avec son père a reçu un coup puisqu'elle n'arrive plus à lui parler directement de ses besoins. Le père aussi est devenu plus autoritaire avec elle, avec des menaces de châtiments corporels. Elle passait au CM1 quand cette situation a commencé. Elle a repris deux fois le CM1 et a fini par abandonner l'école parce qu'elle n'arrive pas à travailler pour aller en classe supérieure. Elle reste aux côtés de sa grand-mère pour l'aider à faire son commerce en attendant son inscription dans un atelier de formation en couture. Elle a commencé par désobéir à tout le monde réclamant sans cesse de visiter sa mère. C'est ainsi qu'à la suite d'un écart de langage avec son père, ce dernier l'a corrigée pour que cela ne devienne pas son habitude. Aka fugue de la maison et a été retrouvée après une semaine. Pendant cette période, elle s'est faite aider par les gens du quartier pour aller chez sa mère. Cette dernière ne l'a pas accueillie comme elle l'imaginait. Elle lui a demandé de repartir car elle avait peur de la réaction du père de sa fille. Aka revient dans la maison de son père où elle a été frappée. Elle multiplie les réactions et les comportements de désobéissance envers les adultes de la maison. Un jour, lorsqu'elle avait vers 12 ans, la fille a été surprise par son père dans un coin avec un jeune garçon du quartier. Le père est dépassé par ce qu'il a vu et sa réaction a été violente: « Voilà, comme tu as commencé par fréquenter ta mère, tu es devenue une prostituée comme elle ». Cette parole prononcée sous l'effet de la colère a heurté la sensibilité de la petite fille. Elle s'est fondue en larmes et a encore fugué de la maison. Elle a été retrouvée après plusieurs jours et conduite à la maison. Le père s'est fondu en larmes et dans ces conditions, il a demandé à sa fille de partir et de ne plus revenir dans sa maison. Ta présence me rappelle au quotidien tout ce que j'ai vécu avec ta mère. Il va jusqu'à dire: « Tu es une prostituée comme ta mère, c'est votre présence dans ma vie qui m'a réduit à cette étape, vous avez détruit ma vie. Partez tous et je vivrai seul en paix ».

Cette parole violente prononcée par le père a dérouté sa fille. Elle ne sait plus quoi faire. Elle a tout temps peur de son père et fuit même sa présence et son regard. Ne pouvant plus supporter cette ambiance de la maison, elle a rejoint sa mère pour lui expliquer ce qui s'est passé. Sa mère a fait le point à son nouveau mari. Ce dernier a refusé de la garder dans sa maison pour ne pas avoir des problèmes avec son père. Aka, pour les quelques jours passés auprès de sa mère, ne se sentait pas à l'aise. Les paroles injurieuses l'ont obligée à quitter la maison pour aller chercher sa propre sécurité, un endroit où elle peut vivre sans menaces et sans injures. Elle s'est retrouvée dans la rue où elle vit de la vente de pur water et les jours où cette activité ne procure pas suffisamment de l'argent pour

subvenir à sa pitance, elle se vend, c'est-à-dire qu'elle se prostitue. C'est dans cette activité qu'elle a été récupérée par une structure de protection qui l'accompagne depuis quelques années dans la reconstruction de son histoire et de sa vie. Voilà le résumé de la vie de Aka.

La situation de monoparentalité est déjà handicapante pour les enfants. Les enfants arrivent vaille que vaille à construire un lien de confiance avec le parent qui assure leur garde. Lorsque ce lien de confiance est mis en mal, comme dans le cas présent, les enfants n'ont pas peur de s'écarter du milieu pour trahison et insécurité. Pour le cas présent, la remarque qui se dégage est que la réaction du père a influencé cette fille. En effet, cette fille grandissait en construisant un lien de confiance avec son père qui a pris un coup à partir du moment où le père ne l'a pas autorisée à visiter sa mère. C'est peut-être ce que le père craignait qui est arrivé. Et sa réaction ne s'est pas faite attendre: « Tu es une prostituée comme ta mère ». Alors que si le père avait maîtrisé ses émotions, il pourrait avoir une autre réaction plus ou moins adaptée. Il devrait comprendre qu'à 12 ans, sa fille entre dans une phase critique de sa vie qu'est la puberté et a besoin d'être écouté, d'avoir des conseils et d'être accompagné pour mieux traverser cette période. Le père a qualifié sa fille de prostituée et elle est devenue réellement prostituée. Cela confirme cette pensée de *John GRAY* « Chaque fois qu'on porte un jugement sur quelqu'un (même sans l'exprimer), celui-ci tend à s'y conformer, du moins pour un temps: si on le taxe de froideur ou d'indifférence, il nous manifestera de la froideur ou de l'indifférence, et ainsi de suite » *(J. GRAY, Op. cit, 48).*

L'autre chose qui marque les enfants, ce sont les comparaisons. Les parents doivent faire attention aux mots qu'ils utilisent pour qualifier les enfants. Il est facile de comprendre que dans nos sociétés, les paroles violentes, les mauvais usages de la parole ont détérioré les relations humaines entrainant des haines, des conflits jusqu'aux séparations et divorces dans les foyers. Les paroles violentes créent la distance entre les parents et leurs enfants et empêchent une bonne communication.

Si en général, les mauvais usages de la parole détruisent la vie communautaire dans les maisons et ainsi que dans nos milieux de vie, qu'en serait-il au sein des familles monoparentales ?

3.3 DISCUSSION / SUGGESTIONS

Les mauvaises paroles sont celles qui dysfonctionnent l'interaction sociale. Elles mettent la distance entre les hommes et créent de la méfiance, de la suspicion, des rancœurs. Les mots tuent. Si les gens savaient combien les mauvais mots détruisent les rêves, détruisent les relations, détruisent l'estime de soi, ils auraient un filtre dans la gorge pour leur permettre de choisir les mots justes. En réalité, si vous n'êtes pas capable de faire des éloges, de sortir des mots réconfortants, apaisants et sécurisants, il serait préférable de s'abstenir de parler surtout si on traverse des situations ou évènements frustrants, angoissants ne vous permettant pas d'avoir le contrôle des mots que vous utilisez.

Mais s'il arrive que des mauvaises paroles s'échappent, il y a encore possibilité de se rattraper. Il suffit de les regretter et de prendre l'engagement de les déconstruire pour le bonheur et l'épanouissement de celui vers qui ces paroles ont été prononcées. Car, là où une parole douloureuse affaiblit, une parole bienveillante renforce et redonne goût à la vie. Il s'agit de la neutralisation d'une mauvaise parole dans le contexte familiale et de monoparentalité.

En effet, la neutralisation d'une parole de malédiction d'un parent envers son fils, dépend de la région, de la culture et de la famille. Mais il y a toutefois une pratique qui reste transversale à tous les peuples du Bénin dans leur grande majorité.

Juste un regard bienveillant, un geste sympathisant, pour redonner vie à une existence humaine qui est perturbée du fait d'une malédiction d'un parent.

Il suffit que le parent accepte d'accueillir de nouveau son nouveau et dans un rituel symbolique, prononce des bonnes paroles, des paroles bienveillantes, des paroles d'espoirs, des paroles de bénédictions, des paroles de réconforts.

Avec la parole, on peut faire une Programmation Neuro Linguistique (PNL) pour donner une nouvelle allure à une vie qui a commencé par sombrer.

A partir de ce moment qu'on prend conscience des dangers des mauvaises paroles, des paroles blessantes et destructrices dans la vie des enfants en général et ceux de famille monoparentale en particulier, les parents doivent faire l'effort d'éliminer ces mots de leur vocabulaire. Nous devons savoir que quelle soit la provenance des paroles blessantes, humiliantes, dévalorisantes, elles ont presque toujours des répercussions négatives sur le développement des enfants et des impacts dans leur éducation. C'est ce qui amène Catherine G à dire: « Les humiliations, le dénigrement, la maltraitance verbale sont des facteurs de perte d'estime de soi, aggravent l'échec scolaire et peuvent même être à l'origine d'actes agressifs, de somatisations, de troubles anxieux ou encore de dépression (source: Pour une enfance heureuse de Catherine Gueguen). » Les parents, les enseignants de quel niveau que ce soit, les formateurs, les pasteurs, les prêtres, les encadreurs des mouvements des enfants et des jeunes, doivent donc faire l'effort d'éviter l'utilisation des mots ou paroles qui pourraient avoir des influences négatives da la vie des enfants.

Sur le plan psychologique, les mauvaises paroles et les étiquettes dégradantes enferment les enfants dans la négativité et les empêchent de laisser éclore leur potentiel de façon naturelle et dynamique. Pour avoir été pendant longtemps humiliés, les enfants pensent que quel que soit les efforts fournis, cela ne sera jamais reconnu à sa juste valeur par les parents. Donc ils préfèrent paraitre tels que les parents les traitent sans faire le moindre effort de changements positifs.

Les paroles ou mots que les parents utilisent pour traiter les enfants sont donc très puissants (destructeurs ou valorisants selon le cas), d'où l'importance de bien les choisir pour éviter les impacts néfastes.

En situation de monoparentalité, les parents ont le devoir de faire en sorte que les paroles qu'ils adressent à leurs enfants soient valorisantes, encourageants et révélateurs du potentiel naturel de chaque enfant. Ceci est très important car c'est en ce seul parent que l'enfant fait confiance depuis sa tendre enfance.

Certains enfants de famille monoparentale intériorisent rapidement les mauvaises paroles humiliantes, et dégradantes et se convainquent qu'ils ne sont pas capables d'apprendre et de changer dans leur vie. A ce propos, les psychologues parlent d'impuissance apprise (ou de résignation acquise) car c'est à force d'entendre qu'ils ne sont pas intelligents, que certains enfants s'abstiennent de fournir d'effort et de travailler. Les attentes et croyances des parents sur les compétences et le potentiel d'un enfant modifient donc son évolution et ses compétences. Il faudra donc utiliser des paroles qui pourraient renforcer l'estime de soi des enfants pour s'attendre à un bon rendement.

Enfin, l'humiliation qui ronge les parents ayant été victimes de violence dans leur enfance est le terreau sur lequel germe leur propre violence. C'est un vrai poison, qui engendre en permanence de nouvelles humiliations, et entretient la spirale de la violence: car les êtres humiliés ont un besoin vital de prendre à leur tour l'ascendant sur un autre être vivant – et forcément avec les enfants, c'est plus facile. De fait, les parents humiliés qui humilient à leur tour leurs propres enfants, perpétuent ainsi le cercle vicieux – à moins que les petites victimes trouvent, à un moment donné de leur vie, une oreille empathique et compatissante, un « témoin secourable ». Sans cette aide, l'humiliation reste un héritage qui se transmet de génération en génération [10].

Pour ce faire, quelques suggestions doivent être faites à tous ceux se trouvent ou se trouveraient dans un cas de situation monoparentale.

Nous avons regroupé ici quelques suggestions dont les parents de famille monoparentale pourront s'inspirer pour mieux communiquer et aider leurs enfants.

- ✓ Organiser des ateliers de communication bienveillante pour les parents de façon générale et pour les parents de familles monoparentale en particulier. Pour le faire, les acteurs de la chaine de protection des enfants en situation de vulnérabilité doivent inviter de façon périodique les parents de famille monoparentale à des ateliers d'échanges pour partager avec eux l'importance de la disponibilité, de l'écoute, de la compréhension, de la communication avec leurs enfants
- ✓ En effet, L'approche humaniste est un courant de la psychologie fondé sur une vision positive de l'être humain. C'est également un modèle de psychothérapie qui s'appuie sur la tendance innée de la personne à vouloir se réaliser, c'est-à-dire à mobiliser les forces de croissance psychologique et à développer son potentiel. La psychologie humaniste (Humanistic Psychology) apparaît à partir des années 1940 aux États-Unis, principalement sous l'impulsion d'*Abraham Maslow*
- ✓ Apprendre à valoriser et non critiquer les attitudes ou comportements de leurs enfants
- ✓ Trouver des alternatives aux injures, aux comparaisons, aux punitions qui humilient, fragilisent, démotivent, mettent les enfants en insécurité. On peut par exemple communiquer avec l'enfant, attirer son attention sur la gravité de son action, lui montrer l'attitude ou le comportement à adopter dans de telles situations, cela pourrait l'amener à une prise de conscience
- ✓ Tenir les enfants au courant de la situation familiale, même les plus jeunes, sans toutefois les accabler d'informations qu'ils ne pourraient assimiler. *Wallerstein et Kelly* ont constaté que, même parmi les enfants trop jeunes pour comprendre la signification du divorce, ceux qui avaient été avertis que papa allait désormais habiter ailleurs se sont montrés moins bouleversés que ceux dont le père avait disparu sans aucune explication
- ✓ L'équilibre psychologique des enfants de famille monoparentale passerait par une franche communication entre les parents, même séparés. Donc rassurer l'enfant sur le fait que le couple parental reste uni, même si le couple conjugal est en crise pour que sa sécurité de base ne soit pas trop malmenée,
- ✓ Éviter les stigmatisations, les injures, les moqueries, les comparaisons: il serait bon que les tuteurs ou autres cessent d'étiqueter les enfants de famille monoparentale s'ils veulent réellement les aider à s'adapter à leur situation. Les carences affectives dues à la séparation des parents engendrent un vide difficile à combler chez les enfants
- ✓ Aider les parents à mieux réfléchir, sans émotion, ni stress, aux décisions à prendre pour aider les enfants à sortir des difficultés dans lesquelles ils se retrouvent
- ✓ Accompagner les enfants de familles monoparentales à acquérir progressivement leur autonomie
- ✓ Il faut dire qu'il est nécessaire d'apporter un soutien psychosocial aussi bien aux enfants de famille monoparentale qu'au seul parent qui s'occupe de leur éducation et de leur développement. Cependant, il est remarqué que certains parents de famille monoparentale opposent une résistance et une attitude de méfiance vis-à-vis des intervenants qui ont reçu une formation professionnelle capable de les aider à améliorer leur relation aussi bien avec leurs enfants qu'avec l'entourage

- ✓ Aider les parents à comprendre que tout enfant est dans un processus d'apprentissage en prenant connaissance de nombreux éclairages sur le développement du jeune enfant et ses spécificités
- ✓ Amener les parents à prendre conscience de la nécessité d'un accompagnement bienveillant, s'appuyant sur les réelles possibilités de l'enfant, afin de lui permettre de développer son intelligence émotionnelle
- ✓ Amener les parents à vivre une solidarité entre les familles car cela est aujourd'hui en disparition dans nos pays
- ✓ Dans les familles monoparentales, le parent qui assure la garde des enfants doit savoir que la plus importante source de sécurité pour un enfant, c'est un parent efficace et sûr de lui-même

4 CONCLUSION

Avant d'avoir des enfants, beaucoup de gens ont été convaincus de devoir éviter les erreurs que leurs parents ont commises dans leur éducation. Aujourd'hui, ils en sont bien conscients, mais leurs subconscients ont été pendant longtemps programmés sur ces erreurs. Une fois mis à l'épreuve, ils ont tendance à reproduire involontairement les mêmes erreurs de leurs parents avec leurs enfants sans pouvoir faire autrement. Pour se justifier, ils se disent que c'est finalement ce qu'il faut faire avec des enfants « difficiles ». Pourtant, un enfant ne vient pas au monde « difficile », demandez-vous ce qui l'a rendu ainsi. Est-ce des paroles violentes, des interdictions rigides, des punitions, des châtiments corporels, des comparaisons, des injures, des malédictions ? En réalité, les raisons peuvent être nombreuses, diverses et variées. Mais une des raisons qui parait évidente, est l'usage de propos injurieux et dévalorisants par les parents des familles monoparentales envers les enfants.

Les conséquences de la parole des parents sur les enfants de famille monoparentale sont surtout d'ordre psychologique. L'enfant se retrouve entre les paroles de ses parents qui sont souvent contradictoires. Cela désoriente l'enfant qui a des difficultés d'adaptation et d'apprentissage à l'école ou sur son lieu d'apprentissage, des difficultés d'intégration dans les groupes de pairs. Dans ces conditions, les enfants éprouvent des sentiments de culpabilité et de honte. Ils développent des troubles de comportement ou caractériels comme la violence, l'agressivité, les sentiments de vengeance. Il y en a même qui nourrissent des idées de suicide pour finir avec toutes ces souffrances.

La famille doit être un bon lieu où il fait bon d'y vivre pour tout le monde. Pour cela, une bonne ambiance est à cultiver par tous les membres, en maintenant une atmosphère plaisante et paisible. La vie de famille ne peut être donnée pour acquise, on doit la construire, la bâtir jour après jour à travers le dialogue, le partage et la communication car si le feu n'est pas entretenu, la flamme s'éteint. L'amour parental pour les enfants est comme le moteur d'une voiture qu'il faut huiler chaque jour de peur qu'il ne se grippe. Aussi quelques paroles aimables ou quelques gestes d'attention suffisent parfois pour détendre l'atmosphère et mettre du baume dans les relations entre parent et enfants de famille monoparentale.

Chaque parole des parents de famille monoparentale et chaque geste peuvent laisser chez l'enfant une blessure, une empreinte, comme les traces laissées sur une feuille qu'on froisse. Notre responsabilité est d'agir ensemble pour la garder intacte, afin que chaque enfant puisse y dessiner une image de lui-même toute en couleurs et en lumières, une image qui lui permettra de garder espoir et de marcher la tête haute vers l'avenir.

REFERENCES

[1] Direction de la recherche, des études de l'évaluation et des statistiques, (2021). *Familles monoparentales: un sentiment de vulnérabilité et une attente forte de soutien à la parentalité*; communiqué de presse; Paris-France; DREES-INFOS@sante.gouv.fr. 2021.

[2] Houzel. D., *Les enjeux de la parentalité*. Editions Erès. (1999).

[3] Mbasso, A, «L'influence des relations affectives intrafamiliales sur le développement psychologique de l'enfant africain». *Psychologie et Education,* N°12 Mars-Avril, 1993.

[4] Bettahar, Y. «La construction sociale de la parentalité: l'exemple de l'Algérie»; *l'Année du Maghreb, II,* p.155 – 167, 2007.

[5] Dayan, A. « Télévision, réception et identité dans une ville africaine» dans *Le temps des médias* vol.2, n°3, 2004.

[6] Sellenet, C., La parentalité décryptée. Pertinence et dérives d'un concept, Paris, L'Harmattan, (2007).

[7] O'Connor H. G. «Annotation: he effects of parenting reconsidered: findings, challenges, and applications», *Journal of Child psychology and psychiatry,* 43: 5, pp 555-572, 2002.

[8] Maigne, E. *Approche thématique: rubrique parentalité,* 2003, http://www.cyes.info/themes/parentalité/parentalité_presentation.php. (2003).

[9] Essomba, A. Les contes et les mythes en Pidgin: facteur d'éducation de l'enfant dans la société africaine traditionnelle dans la région du sud-ouest » (BUEA); Université de Yaoundé 1, 2014.

[10] Proutière, *La destruction par l'humiliation*. Amazone.fr; https://vivreenfamille.org/accompagnement-respectueux-sans-veo/la-destruction-par-l-humiliation/. 2019.

[11] A-C. SABAS. Familles monoparentales: la grande aventure; Éditeur: Michalon, 2019.

[12] R. Dugravier, A-S Barbey-Mintz, «Origines et concepts de la théorie de l'attachement», *dans Enfances & Psy* 2015/2 (N° 66), pages 14 à 22.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1221-1232
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Dynamic (Re) allocation For Multicast Connexion in Elastic Optical Networks

Adepo Joel Christian[1], N'Takpe N'Guessan Christian Placide[1], Diédié Gokou Hervé Fabrice[2], and Babri Michel[3]

[1]Digital Research and Development Unit, Virtual University of Ivory Coast, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Laboratory of Mathematics and Computer Science, Peleforo Gon Coulibaly University, Korhogo, Côte d'Ivoire

[3]National Institut Félix Houphouët Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Elastic Optical Networks (EON) have emerged as a promising solution to meet the demands for flexible and high-capacity communication. However, due to spectral contiguity and continuity constraints, the efficient allocation of resources, such as bandwidth, in EONs remains a challenging task, especially for multicast connections. Indeed, in dynamic traffic scenarios, frequent establishment and teardown of requests lead to the formation of isolated spectrum fragments that cannot be allocated to other requests. Several reallocation approaches exist to aggregate these fragments by reconfiguring already established connections in the network to accommodate new connection requests. All these approaches aim to minimize disruptions for users by minimizing the number of reconfigured connections in the reallocation process. We propose a new approach called Dynamic Bandwidth Reallocation for Multicast Connections (RDBM), which is specifically designed for multicast connections. The RDBM algorithm primarily aims to minimize disruptions during the process of reallocating bandwidth for multicast connections while reducing the blocking probability for dynamic multicast traffic.

KEYWORDS: Elastic optical networks, routing and spectrum allocation, multicast spectrum reallocation.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXT

The ever-increasing and heterogeneous bandwidth demands on the internet are partly due to the proliferation of multicast services such as video conferencing and cloud services [1], [2]. Currently, the most suitable networks to cope with the intense and diverse bandwidth demands on the internet are elastic optical networks [3]. In these networks, the spectrum is divided into multiple units of bandwidth called Frequency Slot Units (FSUs) or slots. These slots are then aggregated and allocated to users based on their bandwidth requirements, enabling flexible bandwidth allocation with high data rates (Tb/s). However, in the absence of wavelength converters, slot allocation in EONs is subject to two major constraints: contiguity and continuity. The contiguity constraint means that the slots allocated to a connection must be adjacent in the spectrum (successive slots). The continuity constraint requires that, for a given connection, the same spectrum range (the same successive indices) should be reserved on each link along the connection path, meaning from the source to the destination. Due to continuity and contiguity constraints, spectrum fragmentation is one of the major challenges in EONs. This occurs when connections are dynamically established and torn down, leading to the formation of numerous isolated slots that cannot be allocated to other requests [4]. In this context, bandwidth defragmentation is a key challenge. The goal is to reorganize the slots to reduce spectrum fragmentation and free up contiguous slots for allocating new connections by reallocating already used frequency slots to existing established connections in the network. This process enhances the utilization of available resources and improves the capacity of the network to accommodate new demands.

The spectrum defragmentation problem is addressed by reallocating frequency slots. Spectrum reallocation can be resolved using either a proactive or reactive approach [5]. The proactive approach involves the use of algorithms that are to reorganize the spectrum. In the reactive approach, algorithms are invoked when a connection request is blocked. In this case, the algorithms attempt to

reconfigure existing connections to free up the necessary resources to accommodate the new connection request. With increasingly dynamic traffic and the growth of multicast services, this study focuses on the reactive reallocation approach.

1.2 OBJECTIVES

The defragmentation process requires the reconfiguration of certain connections established in the network. This reconfiguration can disrupt the destination nodes of these connections. To mitigate the impact of disruptions on all users, spectrum defragmentation algorithms aim to minimize the number of reconfigured connections. The objective of this study was to propose a reactive defragmentation approach that reconfigures multicast connections while minimizing the number of users affected by the process.

1.3 ORGANIZATION

The current section of briefly introduces the reallocation problem, along with the problem statement, objectives, motivation, and contributions. Section 2 provides a review of related work on network reconfiguration. Section 3 provides a detailed description of the problem. Section 4 is the proposed reallocation algorithm. In Section 5, the proposed algorithm is implemented, and the results are analysed and discussed. Finally, Section 6 concludes this study.

2 RELATED WORK

2.1 MULTICAST ROUTING AND SPECTRUM ASSIGNMENT

The resolution of the Multicast Routing and Spectrum Allocation (MC-RSA) problem consists of two sub-problems. The first is the routing problem, which involves finding a tree-like path for a given connection request. The second problem is the spectrum allocation along the path to meet the bandwidth demand of the connection [6], [7].

2.2 SPECTRUM REALLOCATION

The blocking of a connection request can be justified for various reasons. This can be due to a lack of available resources on the determined paths or the absence of contiguous or continuous slots. When the slots are not contiguous, spectrum reallocation involves reconfiguring existing connections by assigning them to different frequency slots to free up contiguous slots to accommodate the new connection request [8], [9]. Several reallocation techniques exist and can be grouped into four main techniques, namely "re-optimization," "make-before-break," the "push-pull" technique, and the "hop tuning" technique [10], [11], [12], [13]. In [14], [15], the authors conducted a comparative study of these techniques. Their results indicate that the "hop tuning" technique yields the best blocking probability for connection requests. In this work, we propose a reallocation algorithm based on defragmentation hoptuning techniques that not only achieves a favorable blocking probability but also minimizes the number of user disruptions. In the case of unicast connections, this means reducing the number of existing traffic flows to be reconfigured in the defragmentation process, because each reconfigured connection disrupts the flow to a single destination node [16]. However, in the case of multicast connections, disrupting a single connection affects multiple destination nodes (i.e., users). When dealing with multicast connections, minimizing the number of users affected by the reallocation process involves finding a reallocation solution in which the number of reconfigured connections minimizes the number of destination nodes.

3 MODELLING THE PROBLEM

3.1 NETWORK MODEL

Let's consider a flexible optical network with an arbitrary physical topology defined by a graph *G = (V, E),* where V is the set of network nodes, and E is the set of network links. Each node is equipped with reconfigurable optical add-drop multiplexers (ROADMs) and variable bandwidth transponders (BVTs) to interface with the upper layers of the network. In addition, each link corresponds to a bidirectional pair of optical fibers. Furthermore, the spectrum of each link, denoted by $l \in L$, is divided into F frequency slots, where f (f = 1,..., |F|) designates the slot with index f. The state of the network is described by a set M of established optical trees, obtained by applying a suitable multicast routing and slot allocation (MRSA) algorithm to a set of connection requests [6].Each optical tree, denoted as $i \in M$, is defined by the tuple(s_i, D_i, n_i, f_i), where s_i is the source node, $D_i$the set of de destination nodes, $n_i$the number of assigned spectrum slots and$f_i$is the first slot of spectrum assigned to i which ranges from f_i up to $(f_i + n_i - 1)$. A set of candidate trees for each connection request is precalculated using the Shortest Path Tree (SPT) algorithm. To avoid numerous reconfiguration steps that could impact network performance, established connections are reconfigured in parallel. This parallel reconfiguration is performed through the hop-tuning technique. Hence, for a given set of reallocation sessions, only two steps are required, namely the simultaneous allocation of new slots and the simultaneous release of the old slots that were assigned to them.

3.2 PROBLEM FORMULATION

Given:

- An elastic optical network (EON); the initial state of the network S_0;
- A set of already established connections denoted by *M*;
- The set of optical trees of M denoted by *T*;
- A blocked connection demand *k* such that $k = (s_k, D_k, n_k)$; the path of *k* is denoted by T_k.

Goal:

- Reduce the blocking probability.

Specific objectives:

- Reconfigure existing connections to free up enough slots to meet any blocked demand k;
- Minimize the number of nodes of existing connections disrupted by the reallocation process.

Constraints:

- The initial routing of established connections is not modified;
- The slots reallocated to already establish connections in the reallocation process are free;
- The reallocation process occurs without the flow interruption;
- The number of destination nodes for each established multicast connection is randomly variable.

3.3 SPECIFICATION OF PROBLEM

Existing reallocation methods prioritize minimizing the disruption of a minimal number of traffic without considering the number of destination nodes disrupted by this process. In a unicast context, these two objectives align, implying that reducing the number of reconfigured connections inherently reduces the number of destination nodes affected by flow interruption. However, for multicast connections, reducing the number of reconfigured connections does not necessarily reduce the number of destination nodes impacted. This is because the number of destination nodes varies for all multicast connections; therefore, the number of destination nodes of multicast connections and the number of connections in the network are uncorrelated. On the one hand, reconfiguring a unicast connection affects a single user (single node), while on the other hand, reconfiguring a single multicast connection can impact several users. The challenge of this work, for a blocked connection request, is to find among there allocation solutions the one that minimizes the number of disrupted users.

3.4 ILLUSTRATION WITH A REALLOCATION PROBLEM INSTANCE

Fig 1 shows an instance of the spectrum reallocation problem. The considered network consists of 5 nodes and 7 links. Connections m_1, m_2, and m_3 have 3 destinations, 2 destinations, and 1 destination, respectively. The initial routing comprises trees T_1 = (1, {2, 3, 4}), T_2 = (3, {4, 5}), and T_2 = (1, {5}). Table 1 lists the slot assignments on the links comprising the paths of the connections. Slot 1 is allocated to tree T_1 (in red color), slot 2 to tree T_2 (in yellow color), and slot 3 to tree T_3 (in green color).

We then consider a new connection request in this network, denoted as m_k = (1, {2, 5}, 2), with source 1 and destinations 4 and 5, and a bandwidth demand of 2 slots. Establishing this connection requires solving the routing and slot assignment problems. The tree obtained after solving the routing problem for this connection request is denoted by T_k (in blue dashed lines). The slot assignment problem on the T_k tree for this connection has no solution. This is because there are no two available slots that satisfy contiguous and continuous constraints on the links comprising the $T_k$tree. As a result, connection m_k is blocked. However, a reallocation of slots allocated to existing connections can potentially allow the acceptance of the new connection request m_k.

The reallocation solution for this request involves identifying a block of two slots on the links of the T_k tree for which all the connections that intersect it can be reconfigured. Reconfiguring these connections will free up the necessary slots to establish the new connection request. The candidate slot blocks that, when reallocated, free up the resources for the new connection request m_k (m_k = (1, {2, 5}, 2)) are {1; 2} and {2; 3}. For the candidate slot block {1,2}, a reallocation solution involves reallocating slot 4 to trees T_1 and T_2 to free up the slot block {1,2} and allocate it to T_k. For the candidate slot block {2,3}, a reallocation solution involves reallocating slot 1 to tree T_2 and slot 4 to tree T_3 to free up the slot block {2,3} and allocate it to T_k. Considering that there are two reconfigured connections in each of these blocks, a reallocation algorithm used for unicast connections can randomly select one of these blocks. If the slot block

{2; 3} is chosen, the process will reconfigure two connections and impact 5 destinations, as shown in Table 2. If the slot block {1; 2} is chosen, the process will reconfigure two connections and impact 3 destinations, as shown in Table 3. Slot reallocation algorithms used for unicast connections are, therefore, not suitable for multicast connections. Next, we propose a slot reallocation algorithm that minimizes the number of impacted destinations during the process

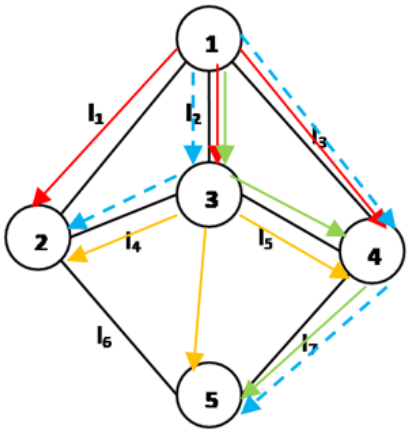


Fig. 1. An instance of the spectrum reallocation problem

Table 1. Network state with block of slots

Liens	1	2	3	4
l_1				
l_2				
l_3				
l_4				
l_5				
l_6				
l_7				
Number of connections reconfigured per block	2			
		2		
			1	
Number of affected destination nodes (users) per block	5			
		3		
			1	

Table 2. Reallocation with minimum existing traffic reconfigured

Liens	1	2	3	4
l_1				
l_2				
l_3				
l_4				
l_5				
l_6				
l_7				
Number of connections reconfigured per block		2		
Number of affected destination nodes (users) per block		5		

Table 3. Number of users (nodes) aware reallocation

Liens	1	2	3	4
l_1				
l_2				
l_3				
l_4				
l_5				
l_6				
l_7				
Number of connections reconfigured per block	2			
Number of affected destination nodes (users) per block	3			

4 PROPOSED METHODS

4.1 SLOTS REALLOCATION ALGORITHM WITH MINIMUM NODES RECONFIGURED

To minimize the number of reconfigured users, we select, among the reallocation solutions, the one for which the candidate block minimizes the number of recipient nodes according to Reallocation with Minimum Nodes Disrupted (see Algorithm I) denoted by RMNDA. RMNDA takes as input the graph G= (E, V), the set of already established multicast connection denoted by M, $T_{k,}$ which is the tree selected for the blocked request k = (s_k, D_k, n_k), and a binary variable Sol, which takes True if a solution is found. The first step ofRMNDA consists in creating a list B of all candidate blocks on $T_{k,}$ each consisting of n_k contiguous slots, where n_k is the number of slots required by the request (refer to line 1 of Algorithm I). For each block b_i in B, RMNDA computes the list L_i of all already established connections that intersect the T_k tree on block b_i (refer from line 2 to line 5 of Algorithm I). At the end of this step, each candidate block b_i is associated with the group L_i of established connections. In the second step, RMNDA calculates the total sum of destinations nodes for the connections in each group L_i. The connection groups are then sorted in ascending order based on the total number of destination nodes (refer to line 7 of Algorithm I). Additionally, the blocks are sorted in the same order as their corresponding L_i (refer to line 8 of Algorithm I). At the end of this step, the blocks belonging to Bare arranged in ascending order according to their number of destination nodes.In the third step, RMNDA traverses the blocks established in line 8 to solve the slot reallocation problem for these blocks. The first block b_i for which slot reallocation is possible becomes the solution to the problem. This block is the elected block. Then, all the slots of the connections in the L_i group associated with $b_i$are reallocated. The slots of b_i used by these connections are released simultaneously using the hop-tuning technique (refer from line 10 to line 16 of Algorithm II). These slots are used to establish the new connection. RMNDA stops when a block is elected or when all the candidate blocks in B have been processed.

4.2 DYNAMIC MULTICAST ROUTING AND SPECTRUM ASSIGNMENT ALGORITHM WITH REALLOCATION

We present our approach (see Algorithm II) denoted by MURHto solvethe dynamic multicast routing and spectrum allocation problem also called or reallocation problem. For a new connection request, the routing problem is solved using Dijkstra's algorithm [17]. MURH determines *k* trees with the smallest number of links. The second subproblem is that of slot allocation, which is resolved using the First-Fit algorithm. This algorithm allocates the first available contiguous slots on each link of the connection tree. If the allocation fails, then existing connections in the network are reconfigured using the proposed reallocation algorithm denoted by RMNDA (refer to line 24 of Algorithm II). If a block is elected (Sol = True), then the current selected tree is established, and the connection request is accepted into the network. If the reallocation algorithm fails, then the connection request is blocked (refer from line 25 to line 32 of Algorithm II).

Aglorithm I: Reallocation with Minimum Nodes Disrupted Algorithm(RMNDA)

Input: G = (E, V), M, Tk, (sk, Dk, nk), Sol = False
Output : Reallocation decision

Create List B of all candidate blocks for T_k
While B ≠ ∅ **do**
  Select a block $b_i \in B$ // Choisir un bloc
  Create List Li of all connections intercepting T_k on bi
  $B = B \setminus \{b_i\}$
End
Sort L_i in ascending order based on the total number of destination nodes in the trees of L_i
Sort b_i in B in the same order as L_i
While (B ≠ ∅ ou Sol = false) do
  Select b_i in the order obtained in 8
  If a reallocation solution exists for b_i **then**
    Reallocate the corresponding slots in parallel for each of the trees in L_i.
    Free up the old slots used by the trees in L_i.
    Sol = true
  Else
    $B = B \setminus \{b_i\}$
  End
End

Algorithm II: Minimum User Reallocation Hoptuning (MURH)

Input : Physical Topology Graph G = (V, E), Multicast Request (s_k, D_k, n_k), A: List of k-trees for (s_k, D_k, n_k), Sol=False
Output : Connection request decision

For a request (s_k, D_k, n_k)
  While (n < k) do
    While $D_k \neq \emptyset$ **do**
      Select a destination $d \in D_t$
      If there is a path from s_k to d **then**
        Find the shortest path P_d from s_k to d (Dijkstra)
        $E_n = E_n \cup P_d$
        $D_k = D_k - \{d\}$
      End
    End
    Construct the tree T_n with the links from E_n
    A = A ∪ T_n
    n = n + 1
  End
  While e < k do
    $T_k = T_e$ // Select T_e as the tree of the request
    If The resources to establish T_k are available **then**
      Allocate resources to T_k
      Accept the session (s_k, D_k, n_k)
    Else
      Run algorithm I
      If (Sol == True) **then**
        Go to 18
      End
    End
    e = e + 1
End
  Reject the session (s_k, D_k, n_k)
End

5 SIMULATION AND RESULTS ANALYSIS

5.1 DYNAMIC MULTICAST ROUTING AND SPECTRUM ASSIGNMENT ALGORITHM WITH REALLOCATION

The proposed approach MURH was compared to two other multicast connection routing and slot allocation approaches. The first algorithm is classic routing and slot allocation algorithm without spectrum reallocation, MRSA (Multicast Routing and Slot Allocation) [6]. The second algorithm is the routing and slot allocation algorithm with minimal reallocation of connections, MCRH (Minimum Connection Reallocation Hoptuning) [16]. Standard network topologies with different characteristics were used, including the physical network topologies USA-Backbone, NSFNet, and cost 239. The simulations were conducted using the simulator called FlexgridSim [17]. The traffic demand type considered here is multicast, which involves one source and multiple destinations. Connection requests were generated randomly following a uniform distribution, and each source node and the set of destination nodes for the request belong to set V. Each fiber had a capacity of 150 FS (Frequency Slots), and each slot had a width of 12.5 GHz. The bandwidth requirements for each multicast traffic request were evenly distributed between 1 and 8 slots, and optical tree requests were established using the first-fit approach. The inter-arrival time between connection requests and the connection holding time were generated according to an exponential distribution [6]. For each network, between 100 and 1000 multicast connections were randomly generated, with the number of destinations ranging from 2 to |V|-2. All the nodes in the network have multicast capabilities. The simulation scenario is as follows: when a connection request arrives, we used a offline manner to calculate the number of different trees from the source to various destinations using the Dijkstra algorithm. For our simulations, we used the first two calculated trees as candidates for routing the request to limit computation time (k=2). For each traffic load (Erlang) in each network, and for a number of 1000 connection requests, 10 simulations were conducted. The evaluation metrics include the connection request blocking rate, the rate of reconfigured destinations, and the fragmentation rate. The average link fragmentation rate in the network is calculated for every 100 processed connection requests. These three metrics are detailed in the following section.

5.2 PERFORMANCE METRICS

Three metrics are evaluated here, namely, the blocking probability, the number of users reconfigured and the fragmentation rate.

- The blocking probability (BP) is defined as the ratio of the total number of blocked connection requests to the total number of requested connections. Let B be the number of blocked requests, R be the number of connection requests, and BP be the blocking probability. Equation (1) gives the expression of BP

$$BP = \frac{B}{R} \tag{1}$$

- The fragmentation rate assesses the proper distribution of slots in the network. The metric used here is Shannon's entropy [18]

$$FP = \sum_{i \in I} \frac{f_i}{S} \ln\left(\frac{S}{f_i}\right) \tag{2}$$

Where S is the number of slots per network link, and f_i is a contiguous block of i slots.

Every 100 processed connection requests and for each Erlang load, the overall network fragmentation rate was calculated by averaging the fragmentation rate of the network's links.

- The numbers of destination nodes reconfigured names numbers of users reconfigured in each graph

$$Nb_{User} = \sum \gamma_i x_i \tag{3}$$

Where γ_i is a binary variable equal to 0 if a destination node x_i is reconfigured and 0 otherwise.

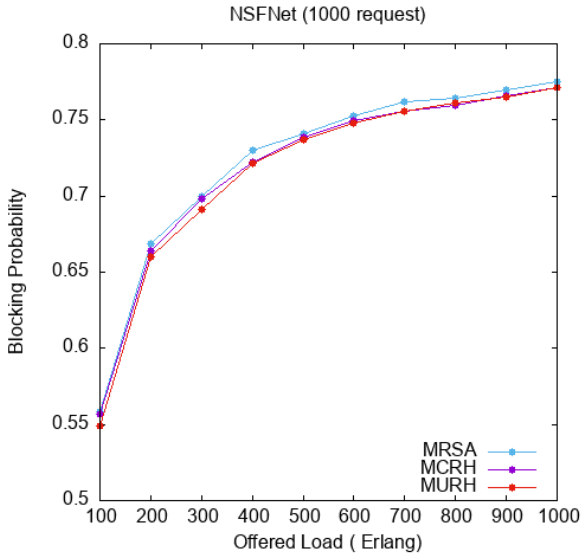


Fig. 2. Blocking probability in NSFNet network

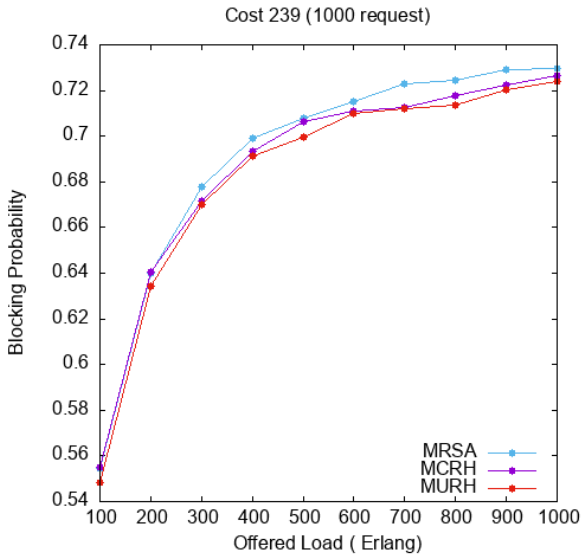


Fig. 3. Blocking probability in COST 239 network

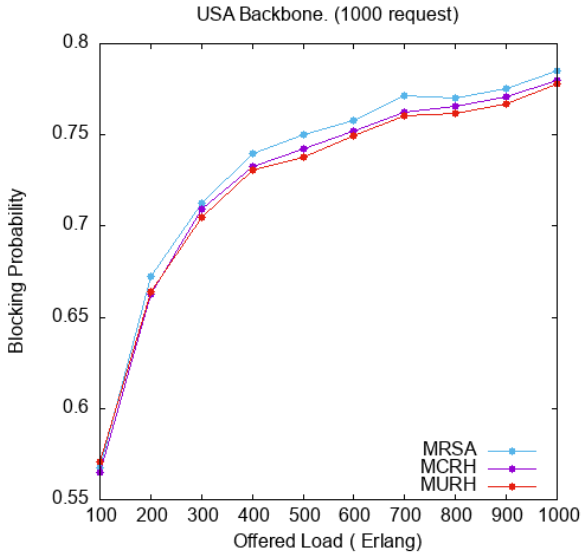


Fig. 4. Blocking probability USA backbone network

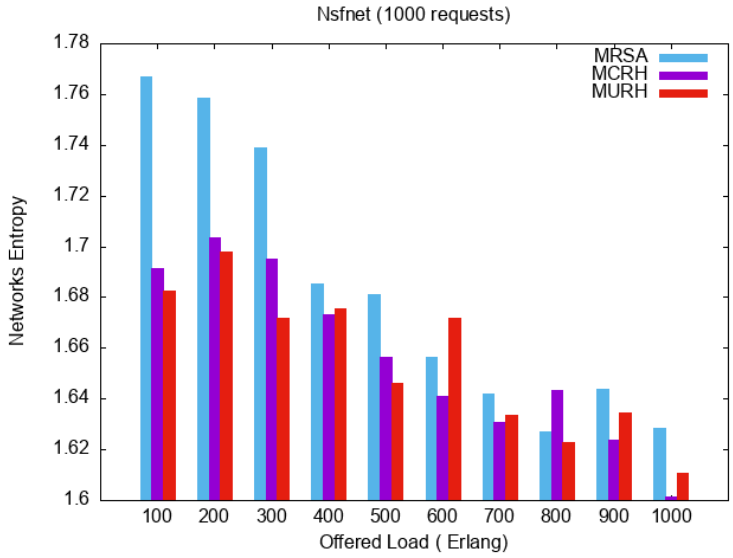


Fig. 5. Average of fragmentation rate in NSFNet

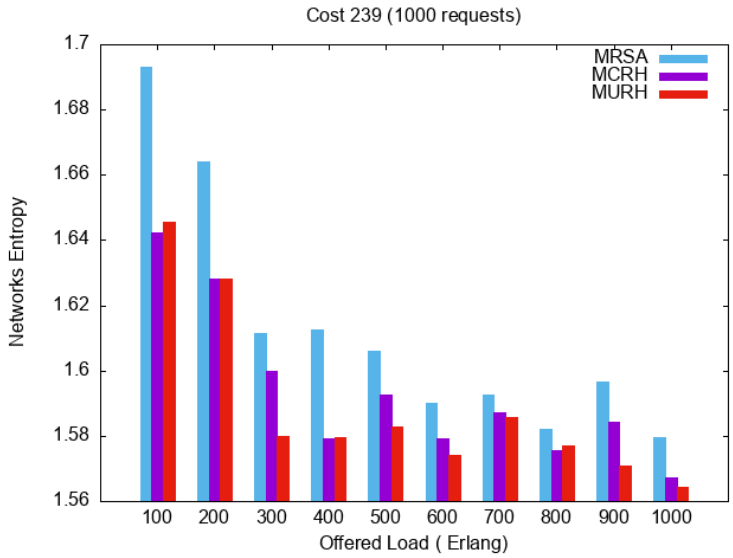


Fig. 6. Average of fragmentation rate in COST 239

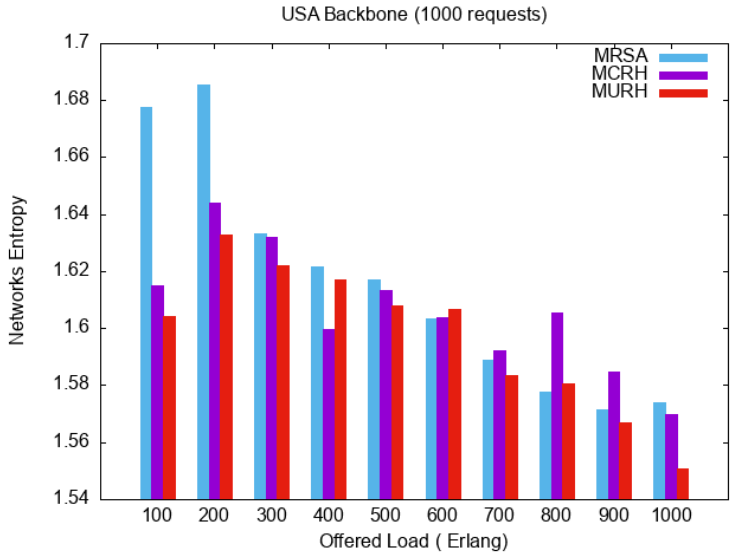


Fig. 7. Average of fragmentation rate in USA Backbone

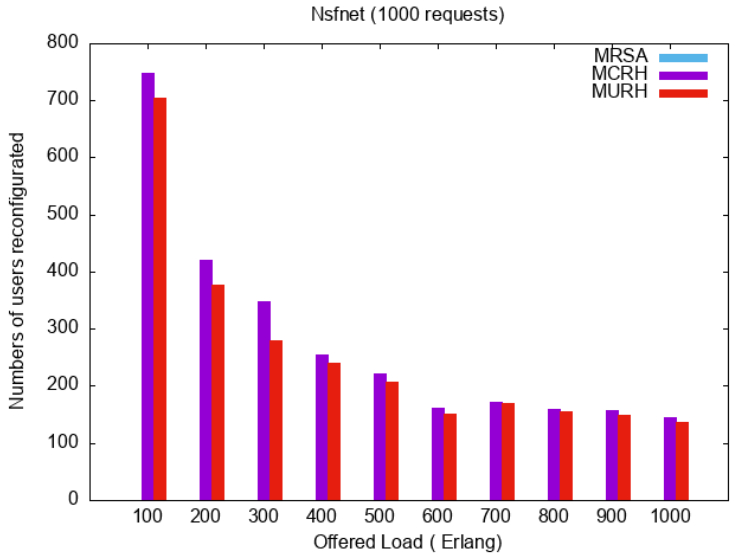


Fig. 8. Numbers of nodes reconfigured in NSFNet

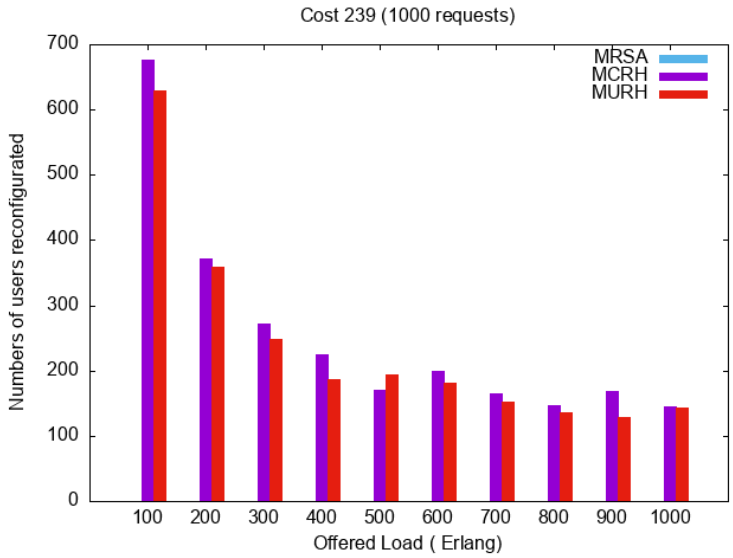


Fig. 9. Numbers of nodes reconfigured in COST 239

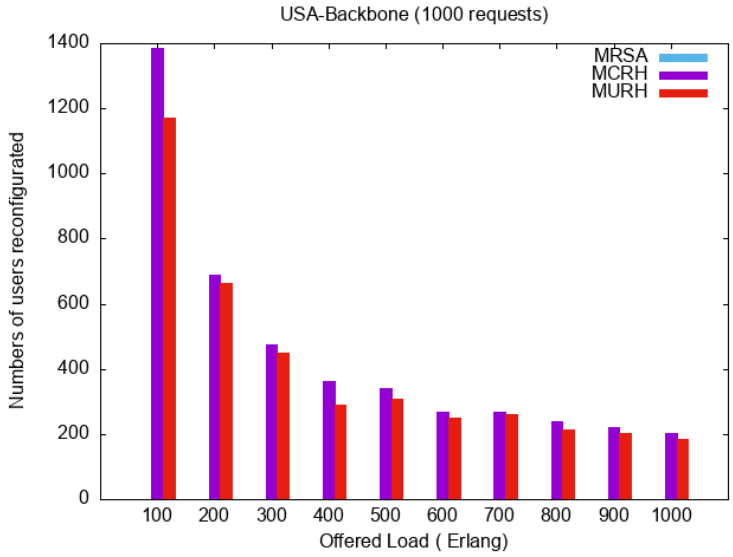


Fig. 10. Numbers of nodes reconfigured in USA Backbone

5.3 ANALYSIS AND DISCUSSION

The results of the various simulations are shown in Figures 2 to 10. Figures 2, 3, and 4 show the results of the blocking probability for the MRSA, MCRH, and MURH algorithms, respectively in NSFNet network, COST 239 network and USA backbone network. It is evident that the MRSA algorithm consistently results in the highest blocking probability, regardless of the network. This can be explained by the fact that MRSA does not perform spectrum reallocation compared to the MCRH and MURH approaches. In the NSFNet network, the MCRH and MURH algorithms have very similar blocking probabilities. This is due to the characteristics of the NSFNet network, which has fewer nodes. In such conditions, reallocation solutions with a minimum number of reconfigured connections come closer to those with a minimum number of affected destinations. Under the Cost 239 and USA Backbone networks, the difference between the two approaches is more apparent, especially as the network load increases, with an advantage for our MURH approach, which achieves a slightly lower blocking probability than the MCRH algorithm. This is because when reconfiguring fewer destinations, it translates to reallocating slots along fewer paths, as each reconfigured destination node corresponds to a path from the source of the reconfigured connection to the reconfigured destination node. The MURH solutions create less disruption in the alignment of slots in the network than the MCRH algorithm. This is confirmed by the fragmentation rate recorded in Figures 5, 6, and 7, where it is observed that the MURH algorithm achieves an average reduction in the fragmentation rate compared to MCRH of 0.08% in the NFSNet network, 1.5% in the Cost 239 network, and 0.55% in the USA Backbone network. Regarding the metric of the number of reconfigured destinations, there is a clear advantage of the MURH algorithm compared to the MCRH algorithm, regardless of the network or network load considered. Since no reallocation operations are performed in the MRSA algorithm, no destination is affected during its execution. In contrast, when comparing MURH and MCRH, MURH reduces the number of affected users by 7% in the NSFNet network compared to the MCRH algorithm. Similarly, MURH reduces the number of affected users by 8% compared to the MCRH algorithm in the Cost 239 network. Finally, in the USA Backbone network, this difference reaches up to a 10.5% reduction in the number of destinations.

6 CONCLUSION

In this work, we addressed the problem of multicast connection allocation. This problem consists of satisfying an initially blocked multicast connection request and reduces the blocking probability.

To overcome this problem, an allocation algorithm was proposed and implemented in a dynamic multicast traffic scenario on the NSFNET, USA Backbone, and Cost 239 topologies. It was demonstrated that the proposed algorithm was capable of satisfying incoming new demands that were initially blocked by reconfiguring a minimal number of existing destinations in the network. A comparison using the metrics of blocking probability, fragmentation rate, and the number of reconfigured destinations was performed with the MRSA and MCRH algorithms. It was concluded that our approach, named MUCRH, reconfigures the smallest number of existing destinations in the network while maintaining or even improving blocking probability performance for higher network loads.

However, the proposed approach does not take into account energy consumption, which is a major consideration in today's choice of reallocation solutions. A future work could involve integrating energy efficiency into this approach using artificial intelligence methods

REFERENCES

[1] W. Liu, P. Wang, Y. Meng, C. Zhao, and Z. Zhang, «Cloud spot instance price prediction using kNN regression,» Human-centric Computing and Information Sciences, vol. 10, article no. 34, 2020. https://doi.org/10.1186/s13673-020-00239-5.

[2] V. Martin, J. P. Brito, C. Escribano, M. Menchetti, C. White, A. Lord, et al., «Quantum technologies in the telecommunications industry,» EPJ Quantum Technology, vol. 8, article no. 19, 2021. https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00108-9.

[3] Sharma, Deepak & Kumar, Suresh. (2017). An Overview of Elastic Optical Networks and its Enabling Technologies. International Journal of Engineering and Technology. 9. 1643-1649. 10.21817/ijet/2017/v9i3/170903022.

[4] Sergio Fernández-Martínez, Benjamín Barán, Diego P. Pinto-Roa, Spectrum defragmentation algorithms in elastic opticalnetworks, ISSN 1573-4277, https://doi.org/10.1016/j.osn.2019.04.001.

[5] B. C. Chatterjee, S. Ba and E. Oki, «Fragmentation Problems and Management Approaches in Elastic Optical Networks: A Survey,» in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 1, pp. 183-210, Firstquarter 2018, doi: 10.1109/COMST.2017.2769102.

[6] M. Moharrami, A. Fallahpour, H. Beyranvand and J. A. Salehi, «Resource Allocation and Multicast Routing in Elastic Optical Networks,» in IEEE Transactions on Communications, vol. 65, no. 5, pp. 2101-2113, May 2017. doi: 10.1109/TCOMM.2017.2667664.

[7] Walkowiak, K., Goscien, R., Klinkowski, M., & Wozniak, M. (2014). Optimization of Multicast Traffic in Elastic Optical Networks With Distance-Adaptive Transmission. IEEE Communications Letters, 18 (12), 2117-2120. doi: 10.1109/lcomm.2014.2367511.

[8] Velasco, L., Vela, A. P., Morales, F., & Ruiz, M. (2017). Designing, Operating, and Reoptimizing Elastic Optical Networks. Journal of Lightwave Technology, 35 (3), 513-526. doi: 10.1109/jlt.2016.2593986.

[9] Alberto Castro, Luis Velasco, Marc Ruiz, Mirosław Klinkowski, Juan Pedro Fernández-Palacios, Davide Careglio, Dynamic routing and spectrum (re) allocation in future flexgrid optical networks, Computer Networks, Volume 56, Issue 12, 2012, Pages 2869-2883, ISSN 1389-1286, https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.05.001

[10] Rajewski, Remigiusz (2018). Defragmentation in W-S-W Elastic Optical Networks. Journal ofTelecommunications and Information Technology. 1. 18-23. 10.26636/jtit.2018.123317.

[11] H. Duong, B. Jaumard, D. Coudert and R. Armolavicius, «Efficient Make Before Break CapacityDefragmentation,» 2018 IEEE 19th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/HPSR.2018.8850754.

[12] N'takpe «Protected Light-Tree Reconfiguration Without Flow Interruption in Elastic Optical Networks» DOI: 10.22247/ijcna/2021/209185, International Journal of Computer Networks and Application 2021.

[13] P. Soumplis, K. Christodoulopoulos and E. Varvarigos, «Dynamic connection establishment and network re-optimization in flexible optical networks,» 2014 International Conference on Optical Network Design and Modeling, 2014, pp. 61-66.

[14] S. Fernández-Martínez, B. Barán, and D. P. Pinto-Roa, «Spectrum defragmentation algorithms in elastic optical networks,» Opt. Switch.Netw., vol. 34, no. July, pp. 10–22, 2019.

[15] Moniz, Daniela & Eira, Antonio & de Sousa, Amaro & Pires, João (2017). On the Comparative Efficiency of Non-Disruptive Defragmentation Techniques in Flexible-Grid Optical Networks. Optical Switching andNetworking. 25. 10.1016/j.osn.2017.04.001.

[16] S. K. Posam, S. K. Bhyri, R. Gowrishankar, V. N. Challa and S. S. S. Sanagapati, «Reactive Hitless Hop tuning based defragmentation algorithm for enhanced spectrum efficiency in Elastic optical networks,» 2020 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), 2020, pp. 1-6.

[17] N'takpe «Protected Light-Tree Reconfiguration Without Flow Interruption in Elastic Optical Networks» DOI: 10.22247/ijcna/2021/209185, International Journal of Computer Networks and Application 2021.

[18] Wright, M. C. Parker, and A. Lord, «Simulation results of Shannon entropy based flexgrid routing and spectrum assignment on a real network topology,» in ECOC, London, UK, Sept. 2013, paper We.2.E.4

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1233-1239
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Réponse d'une variété locale (*Tabouchi*) de taro (*Colocasia esculenta L. schott)* à une phytohormone (6-benzylaminopurine) en culture *in vitro*

[Response of a local variety (*Tabouchi*) of taro (*Colocasia esculenta* L. schott) to a phytohormone (6-benzylaminopurine) in *in vitro* culture]

Donwière Some, Siédou Sory, Marie Claire Cece, and Renan Ernest Traore

Equipe Génétique et Amélioration des Espèces, Laboratoire Biosciences, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) is an under-exploited crop in Burkina Faso, although it can contribute to food self-sufficiency. The major constraint to promoting its cultivation is the unavailability of healthy seeds. Corms are rich in water (75%) and nutrient reserves, making them difficult to store. The use of plant biotechnologies is one of the effective means of overcoming this problem, hence the interest of this study, which focuses on the response of a local variety of taro (*Tabouchi*) to a phytohormone (6-benzylaminopurine) in *in vitro culture*. After budding, the resulting buds were disinfected with NaClO at different doses (2.75, 3 and 3.7%). The disinfected explants were subcultured on ½MS medium supplemented with BAP (2; 4 and 6 mg/L). Seven quantitative characteristics were measured during the trial. With regard to disinfection, the 3.7% NaClO dose showed the lowest contamination rate (43.33%). The culture medium containing 6 mg/L BAP induced sprout tip by inhibiting the root system of vitro plants. All the growth parameters measured showed better performance in the control medium, except for the number of shoots (NR). The control medium did not produce any shoots, even though it promoted the development of the *in vitro* plants' root system. The medium containing 6 mg/L BAP would be recommended for the production of shoots, while the control medium would be favorable for the regeneration of plants without shoots.

KEYWORDS: Colocasia esculenta; cytokinin; disinfectant; in vitro culture; Burkina Faso.

RESUME: Le taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) est une plante sous exploitée au Burkina Faso alors qu'elle peut contribuer à atteindre l'auto-suffisance alimentaire. Les contraintes majeures à la promotion de sa culture est l'indisponibilité de semences saines. Les cormes étant riche en eau (75%) et en réserves nutritives rend leur conservation difficile. L'usage des biotechnologies végétales est l'un des moyens efficaces pour pallier ce problème, d'où l'intérêt de cette étude qui porte sur la réponse d'une variété locale de taro (*Tabouchi*) à une phytohormone (6-benzylaminopurine) en culture *in vitro*. Après bourgeonnement, les bourgeons ainsi obtenus ont été désinfectés à l'aide de NaClO à différentes doses (2,75; 3 et 3,7%). Les explants désinfectés ont été repiqués sur un milieu ½MS supplémenté de BAP (2; 4 et 6 mg/L). Au cours de l'essai sept caractères quantitatifs ont été mesurés. Concernant la désinfection, la dose de 3,7% de NaClO a présenté le plus faible taux de contamination (43,33%). Le milieu de culture contenant 6 mg/L de BAP a induit des rejets en inhibant le système racinaire des vitro plants. Tous les paramètres de croissance mesurés ont présenté des meilleures performances dans le milieu témoin sauf le caractère nombre de rejets (NR). Le milieu témoin n'a émis aucun rejet alors qu'il a favorisé le développement du système racinaire des vitro plants. Le milieu contenant 6 mg/L de BAP serait à recommander pour la production de rejets tandis que, le milieu témoin serait favorable à la régénération de plants sans rejets.

MOTS-CLEFS: Colocasia esculenta; cytokinine; désinfectant; culture in vitro; Burkina Faso.

Corresponding Author: Donwière Some

1 INTRODUCTION

En Afrique, la production agricole est beaucoup basée sur la production céréalière. En 2018, un tier de la production totale était des céréales, suivies des cultures sucrières (24%) et des légumes (12%) [1]. Au Burkina Faso, le secteur agricole représente 40% du PIB et emploie environ 86% de la population active [2]. Cette agriculture repose principalement sur les céréales pluviales (sorgho, mil, maïs,...) qui occupent 98,5% des surfaces emblavées et 98% des productions [3]. Pourtant, les plantes à tubercules et à racines comestibles pourraient alors combler le déficit céréalier. Parmi ces plantes à tubercules, le macabo, l'igname, le manioc, la patate, le souchet, le fabirama, le gingembre et le taro sont les plus cultivées au Burkina Faso. Par contre, leur production reste toujours marginale et certaines d'entre eux ne font pas l'objet de données statistiques nationales. Par exemple, c'est le cas du taro. En outre, le taro possède des valeurs nutritives et thérapeutiques importantes [4] et un bon potentiel agronomique si ses exigences écologiques sont satisfaites [5]. Sa culture peut contribuer à atteindre l'autosuffisance alimentaire et être plus qu'un aliment de soudure. Ces cormes sont vendus et sont sources de revenus pour les producteurs. Malheureusement, ces dernières années la production de taro au Burkina Faso est limitée par des maladies et l'indisponibilité des semences saines. La conservation des cormes du taro étant difficile alors les paysans pratiquent une conservation *in-situ* des rejets. Cependant, ces rejets font l'objet d'attaques parasitaires. A cet effet, la technologie de la culture *in vitro* pourrait permettre d'obtenir des plants sains et accessibles et de permettre la conservation des vitro plants de taro. Ce présent travail dont l'objectif est d'établir un protocole de production de semences saines de taro, pose les bases de désinfection et de micro-propagation de *Colocasia esculenta* au Burkina Faso.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les cormes de taro ont été utilisés comme matériel végétal. Il s'agit des cormes de la variété botanique *Dasheen* de *Colocasia esculenta* appelé *Tabouchi* en langue locale. Ils proviennent de Samorogouan qui est une commune rurale de la province du Kénédougou, situé dans la région des Hauts-Bassins à l'ouest du Burkina Faso. Ce sont les bourgeons de ces cormes qui ont été utilisés comme explants pour la culture *in vitro*.

2.2 METHODES

2.2.1 PRODUCTION DES EXPLANTS

Pour l'obtention des explants, les cormes ont été mis en condition de bourgeonnement. Cela a consisté à recouvrir légèrement les cormes avec du sable dans des pots de 10 litres préalablement percés pour faciliter le ressuyage d'eau. Les pots ont été placés dans une chambre couverte d'un toit translucide et clôturée d'un grillage. Chaque pot a reçu environ 500 ml d'eau tous les 2 jours. Les bourgeons des cormes mesurant au moins 1 cm ont été utilisés comme explants.

2.2.2 DÉSINFECTION DES EXPLANTS

Les bourgeons ainsi prélevés ont été d'abord lavés à l'eau filante au robinet puis trempés dans de l'eau distillée contenant quelques gouttes de tween-20 pendant cinq minutes. Ensuite, ces bourgeons ont été mis dans de l'alcool à 70% pendant trois minutes. Enfin, ils ont été trempés dans trois doses de l'hypochlorite de sodium (2,75; 3 et 3,7%) afin de déterminer la meilleure concentration pour la désinfection des explants. Le tween-20 a été additionné dans l'alcool et dans l'hypochlorite de sodium (NaClO) à chacune de ces étapes comme agent mouillant. A la fin de la désinfection, trois rinçages successifs ont été effectués à l'eau distillée stérile pendant 15, 10 et 5 minutes pour éliminer davantage le NaClO. Après le rinçage, les explants ont été placés sur du papier buvard stérile pendant environ 15 minutes pour essorer l'eau. Toutes ces opérations ont été réalisées sous une hotte à flux laminaire horizontal et entre deux becs benzènes afin de réduire au maximum les risques de contamination. Au total 460 bourgeons ont été désinfectés.

2.2.3 PRÉPARATION DU MILIEU DE CULTURE

Dans cette étude le milieu de base utilisé a été le milieu ½MS. Pour préparer 1000 ml de ce milieu, 500 ml d'eau distillée a été mesurée avec une éprouvette graduée. Ensuite, 2,3 g de ½MS, 30 g de saccharose et 2 g de gelrite (gellan gum) ont été ajoutés. De plus, différentes concentrations de BAP (0; 2; 4; 6 mg/L) a été ajouté à l'aide d'une micropipette afin de déterminer la meilleure concentration. Le contenu a été agité à l'aide d'un barreau aimanté sur une plaque magnétique, puis le pH a été

vérifié et ajusté à 5,7±0,1 par ajout d'une solution de NaOH ou de HCl à l'aide d'un pH mètre et d'une micropipette. L'eau distillée a été ajoutée pour compléter à 1000 ml le milieu de culture. L'ensemble a été stérilisé à l'autoclave pendant 15 minutes à 121°C. Enfin, le milieu a été servi dans des bocaux en verre stérile, à raison de 30 ml de milieu ½MS par bocal, sous une hotte à flux laminaire horizontal.

2.2.4 MISE EN CULTURE IN VITRO

Les explants prélevés et stérilisés ont été ensemencés dans les milieux de culture préparés à cet effet. Après l'ensemencement, les bocaux ont été hermétiquement fermés et étiquetés. Les bocaux ont été placés dans une chambre de culture sous une photopériode de 16h de lumière avec une intensité lumineuse de 357,25 lux. La température et l'humidité relative moyenne de la chambre de culture a été respectivement de 25±2°C et 41,33±6,9%.

2.2.5 COLLECTE DES DONNÉES

Au total 7 caractères quantitatifs ont été évalués, principalement les paramètres sanitaires et de croissance des vitro plants. Il s'agit de la longueur des racines (LR) et la hauteur des vitro plants (HMP) mesurées à l'aide d'un ruban gradué. De plus, le nombre de rejets (NRe), de racines (NRa) et de feuilles (NF) ont été comptés. Les taux de reprise (TR) et de contamination (TC) ont été calculés à l'aide des formules suivantes:

$$TR\ (\%) = \frac{Nombre\ d'explants\ repris}{Nombre\ total\ d'explants\ ensemencés} * 100$$

$$TC\ (\%) = \frac{Nombre\ de\ plants\ contaminés}{Nombre\ total\ d'explants\ ensemencés} * 100$$

2.2.6 ANALYSE DES DONNÉES

Les données collectées ont été saisies sur le tableur Excel 2016. Une analyse comparative des caractères quantitatifs des plants issus de chaque dose de BAP s'est faite à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) au seuil de 5%. De même, une analyse de variance a été réalisée pour les différentes doses d'hypochlorite de sodium (NaClO). Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R. Avant ces analyses, un test de normalité a été fait pour chaque caractère.

3 RESULTATS

3.1 REPONSE DES EXPLANTS AUX DIFFERENTES CONCENTRATIONS DE L'HYPOCHLORITE DE SODIUM (NACLO)

Tous les paramètres mesurés ne permettent pas de discriminer les différentes doses de l'hypochlorite de sodium (NaClO) utilisé sauf la variable nombre de feuilles (NF) (Tableau 1). Une inhibition de l'apparition des feuilles a été constatée pour 3,7% de NaClO.

Tableau 1. ***Effets de l'hypochlorite de sodium sur les paramètres de croissance***

Variable	Modalités	HP	NF	NRa	LR	NRe
Dose de NaClO	N1	4,275a	3,110b	3,404a	0,941a	0,257a
	N2	4,375a	4,666b	3,083a	0,400a	0,333a
	N3	3,644a	1,735a	1,823a	1,611a	0,088a
F		1,257	5,577	1,057	1,649	0,894
Pr		0,287	0,004	0,350	0,195	0,411
Significativité		Non	Oui	Non	Non	Non

a et b*: classes des valeurs issues de la comparaison par le test de Newman Keuls tel que b › a;* ***F****: F de Fisher;* ***Pr****: Probabilité associée au F de Fisher;* ***NaClO****: hypochlorite de sodium;* ***LR****: Longueur des racines;* ***Nre****: Nombre de rejets;* ***NRa****: Nombre de racines;* ***HP****: Hauteur des vitroplants;* ***NF****: Nombre de feuilles;* ***N1****: 2,75% de NaClO;* ***N2****: 3% de NaClO;* ***N3****: 3,7% de NaClO*

3.2 TAUX DE REPRISE ET DE CONTAMINATION DES EXPLANTS

Les explants repiqués ont présenté 61,73% de contamination et 99,34% de reprise. La figure 1 présente les taux de contamination (TC) et les taux de reprise (TR) en fonction de la dose du désinfectant (hypochlorite de sodium) utilisé. En effet,

lorsque la dose de l'hypochlorite de sodium augmente, le taux de contamination diminue. Les taux de contamination ont été déterminés à 20 jours après ensemencement. Au bout du 3^{ième} jours après ensemencement (JAE) des mycéliums et des colonies de bactéries ont apparu dans certains pots. La contamination a entrainé la mort de certains vitro plants. Au cours de l'expérimentation, la plupart des contaminations des vitro plants ont débuté au tour des explants et se sont propagées sur l'ensemble du milieu de culture. Les trois doses de NaClO ont présenté des taux de reprise satisfaisant. La reprise des explants a commencé au bout de 3 JAE.

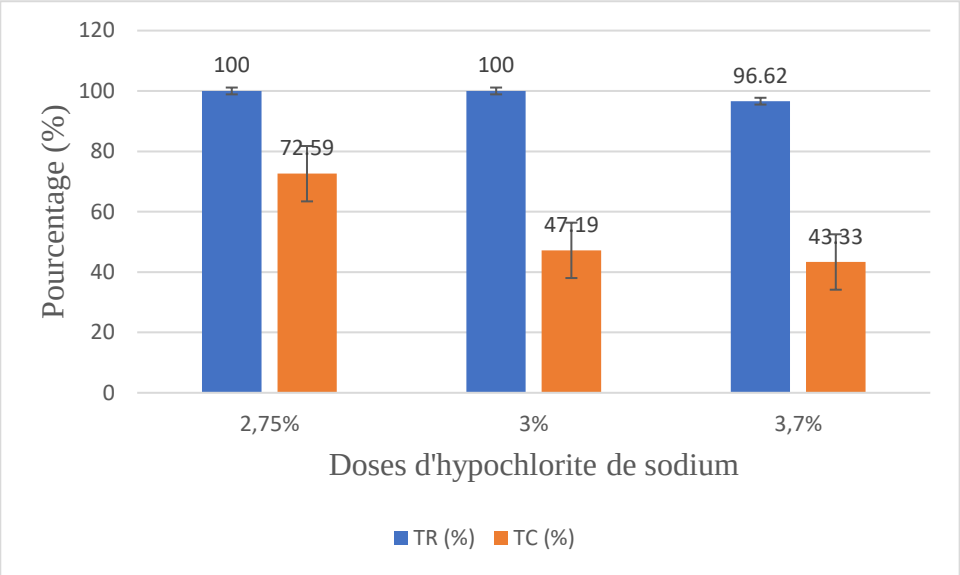


Fig. 1. Taux de contamination (TC) et de reprise (TR) des explants suivant la dose du désinfectant (hypochlorite de sodium)

3.3 PERFORMANCE DES VITRO PLANTS

Sur l'ensemble des explants ensemencés, seuls 13,75% ont émis des rejets, 74,72% ont produit des feuilles et 38,46% ont régénéré des racines. Le tableau 2 présente les maxima, les minima, les moyennes, les écart-types et les coefficients de variation de chaque variable mesurée. La hauteur maximum étant de 13 cm montre que les milieux de culture utilisés ont été favorables pour la croissance des vitro plants. L'apparition des premières feuilles et les premiers rejets a été constaté respectivement au bout de 7 et 14 JAE. La figure 2 présente les différentes parties des vitro plants ainsi que la présence des rejets.

Tableau 2. Performance des vitro plants pour les caractères mesurés

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV (%)
HP (cm)	1,300	13,000	4,164	2,132	51,200
NF	0,000	15,000	2,956	2,896	97,970
NRa	0,000	30,000	3,088	5,674	183,743
LR (cm)	0,000	14,500	1,031	2,302	223,278
NRe	0,000	5,000	0,231	0,714	309,090

***LR**: Longueur des racines; **NRe**: Nombre de rejets; **NRa**: Nombre de racines; **HP**: Hauteur des vitro plants; **NF**: Nombre de feuilles, **CV**: coefficient de variation*

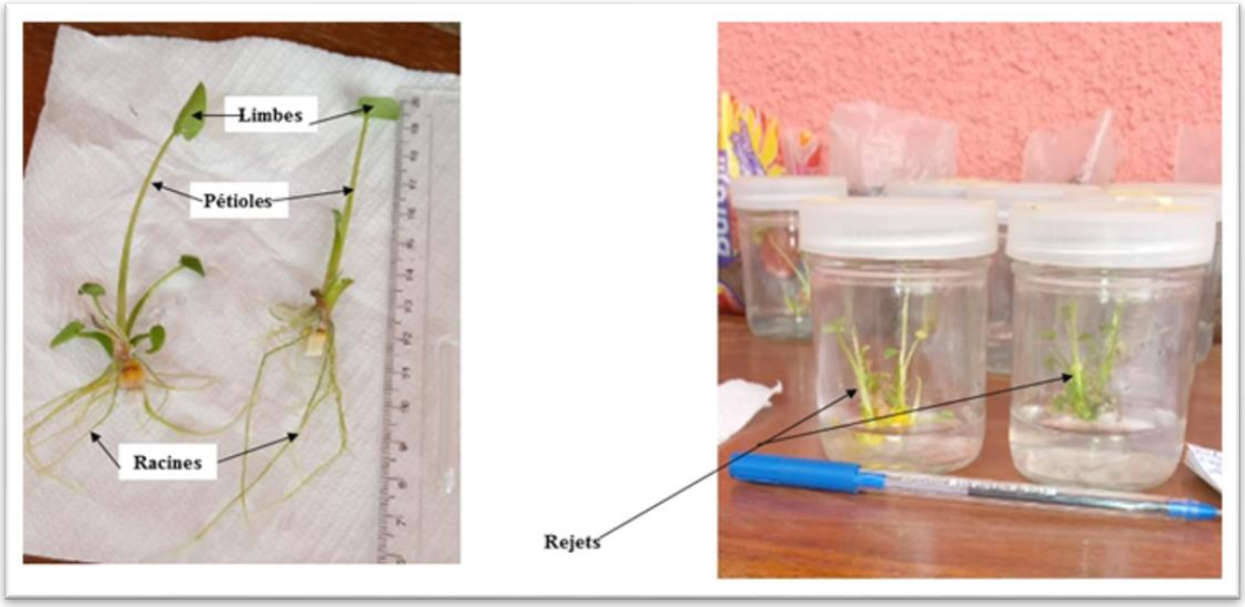


Fig. 2. Régénération des vitroplants de taro (30 JAE)

3.4 EFFET DES DIFFERENTES CONCENTRATIONS DU 6-BENZYLAMINOPURINE (BAP) SUR LES PARAMETRES DE CROISSANCE

Tous les paramètres de croissance mesurés se sont révélés discriminants sauf la variable liée au nombre de feuilles (Tableau 3). Le milieu contenant 6 mg/L de BAP est le milieu qui a présenté plus de vitro plants ayant émis des rejets. Cependant, le milieu témoin, c'est-à-dire le milieu ne contenant pas de BAP a presenté un système racinaire bien développé que les autres milieux contenant le BAP. De même, la hauteur des vitro plants est meilleur dans le milieu témoin.

Tableau 3. Effets de 6-benzylaminopurine (BAP) sur les paramètres de croissance

Variable	Modalités	HP	NF	NRa	LR	NRe
Doses BAP	T0	4,714b	2,346a	5,734b	2,783b	0,000a
	T1	4,323ab	3,236a	2,447a	0,484a	0,157ab
	T2	4,055ab	2,979a	2,448a	0,381a	0,285ab
	T3	3,560a	3,347a	1,478a	0,306a	0,434b
F		2,488	1,126	5,546	16,31	2,71
Pr		0,004	0,340	0,001	0,000	0,0466
Significativité		Oui	Non	Oui	Oui	Oui

*a et b: classes des valeurs issues de la comparaison par le test de Newman Keuls tel que b › a; **F**: F de Fisher; **Pr**: Probabilité associée au F de Fisher; **BAP**: 6-benzylaminopurine; **LR**: Longueur des racines; **NRe:** Nombre de rejets; **NRa**: Nombre de racines; **HP**: Hauteur des vitro plants; **NF**: Nombre de feuilles; **T0**: Témoin (sans BAP), **T1**: 2mg/L de BAP; **T2**: 4mg/L de BAP; **T3**: 6mg/L de BAP.*

4 DISCUSSION

La micro-propagation est la propagation clonale *in vitro* des plantes [6]. Les agents pathogènes du taro constituent un obstacle à sa production dans les grandes zones de production au Burkina Faso. Il est donc impératif de développer des protocoles d'organogénèse directe des pousses pour cette culture d'importance alimentaire et nutritionnelle. Ces protocoles permettront de produire un grand nombre de nouvelles plantules de haute qualité en un temps relativement courts et dans un espace réduit. Les plantules issues de la micro-propagation aident à la conservation du matériel génétique des plantes [7]. La reprise des explants prouve que le milieu MS développé par [8] est propice pour la culture *in vitro* des plantes. Ce milieu de base, réduit de moitié est favorable au bon développement de *Colocasia esculenta* comme certains auteurs [9], [10] et [11] l'ont déjà utilisé.

La désinfection effectuée au cours de la manipulation concerne plus ou moins la partie extérieure des explants alors que les micro-organismes pourraient être à l'intérieur tels que, les champignons et les bactéries endophytiques [12]. Ceci expliquerait pourquoi le taux de contamination est assez élevé dans l'ensemble de l'essai. Les explants n'ayant pas survécus auraient à l'initial un état sanitaire défectueux. Un faible taux de contamination a été obtenu pour une concentration de NaClO plus élevée (3,7%). A cette dose, les contaminants de surface sont à majorité détruits. Le NaClO a un mécanisme d'action qui cause des altérations biosynthétiques des parois cellulaires des bactéries et des champignons. A cette dose, aucune nécrose n'a été observée. Cela signifie que la dose de NaClO pourrait être augmentée afin de détruire au maximum les contaminants de surface. Pourtant, à une certaine dose il pourrait être toxique pour les tissus des plantes [13].

Le BAP est principalement utilisée pour la régénération *in vitro* des monocotylédones [14]. Dans cette étude, le BAP a eu un effet sur les paramètres de croissance. De ces résultats, il ressort que plus la concentration de BAP augmente, plus le nombre de rejet augmente. Le milieu contenant 6 mg/L de BAP a induit plus de rejets. Ce milieu serait donc le meilleur milieu de régénérescence des rejets des vitro plants de *Colocasia esculenta*. Cependant, les auteurs [15] et [10] ont rapporté que le milieu contenant 2 mg/L de BAP est le meilleur milieu qui induit les rejets alors que les résultats des travaux de [16] ont révélé que le milieu contenant 8 mg/L de BAP produit le plus de rejets. Cette différence pour le meilleur milieu de rejets pourrait être liée au génotype du taro et les conditions de culture. Selon [17], lorsque la concentration de la cytokinine est élevée, elle provoque un retard dans la formation des pousses. A 8 mg/L de BAP, la dose de toxicité n'est pas atteinte car [16] a obtenu des rejets dans un tel milieu. Aussi, les différentes concentrations ont-elles influencé la production des racines. Le milieu témoin a présenté les meilleurs résultats pour les paramètres liés à la rhizogenèse (NRa et LR) et au feuillage (NF). La cytokinine (BAP) est une phytohormone qui favorise le développement de la partie aérienne en stimulant les rejets. Ainsi le BAP additionné au milieu de base favorise la formation de rejets mais il exercerait un effet inhibiteur sur la formation des racines. Cela pourrait être dû à l'effet de la cytokinine (BAP) dans la libération des pousses de bourgeons latéraux en brisant la dormance apicale par l'inhibition de l'effet d'un niveau élevé d'auxines endogènes [16]. Le milieu témoin a aussi présenté les meilleures performances pour la hauteur des vitro plants (HP). La hauteur des vitro plants décroît lorsque la concentration de BAP augmente. Comme dans le milieu témoin, les vitro plants ont développé plus de racines, alors, ils pourraient se nourrir à travers les racines mais sans les racines les plants puisent difficilement les éléments minéraux dont ils ont besoin pour croître. De plus, un plant ayant des rejets ne pourrait pas croître comme un plant sans rejets car les éléments nutritifs seraient repartis sur l'ensemble des rejets. Le coefficient de variation (CV) de toutes les variables était supérieur à 50%. Selon [18] lorsque le coefficient de variation est supérieur à 30%, cela signifie que les valeurs des variables sont dispersées au tour de la moyenne. Les vitro plants n'étaient pas dans les mêmes milieux de culture. En effet, ceci témoigne de l'effet des différentes concentrations du BAP sur les paramètres de croissance mesurés.

5 CONCLUSION

Le taro est une plante sous exploitée au Burkina Faso. La culture de cette espèce rencontre des difficultés telles que le problème de semences et de maladies parasitaires. L'ensemble de ces problèmes ont suscité l'utilisation de la biotechnologie végétale. Ces résultats montrent que 3,7% de NaClO permet de réduire le taux de contamination des vitro plants. En outre, quand la dose du désinfectant augmente, le taux de contamination diminue. En plus, le milieu ½MS a été propice à la culture tissulaire de la variété *dasheen* car il y a eu des reprises au bout de quelques jours après l'ensemencement. L'étude a montré que le BAP est une phytohormone qui stimule la régénérescence des rejets mais en inhibant la régénérescence des racines. En effet, un bon développement du système racinaire a été observé dans le milieu ne contenant pas de BAP. Le milieu ½MS supplémenté de 6-benzylaminopurine (BAP) a été utilisé pour la régénérescence des vitro plants. Ainsi, 6 mg/L de BAP a favorisé la régénérescence des rejets. En outre, le milieu témoin produit des vitro plants aptes à l'acclimatation car leurs systèmes racinaire et foliaire sont bien développés.

REFERENCES

[1] FAO, A.U.C., 2021. Africa regional overview of food security and nutrition 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets. Food & Agriculture Org.

[2] Ministère de l'Economie, des Finances et du Développement (MINEFID), 2020. Tableau de bord de l'économie. http://cns.bf /IMG/pdf/tbef-2019_07dec2020_dss.pdf

[3] Politique Natioale de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNSAN), 2013. Rapport du Burkina Faso sur la Politique Nationale de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle. Burkina Faso. https://faolex.fao.org/docs/pdf/bkf141993.pdf

[4] Ouédraogo, N., Sombié, D., Eric, P.A., Traoré, R.E., Sama, H., Bationo Kando, P., Sawadogo, M., Lebot, V., 2023. Nutritional and phytochemical characterization of taro (Colocasia esculenta) germplasm from Burkina Faso.

[5] Varin, D., Vernier, P., 1994. La culture du taro d'eau (Colocasia: C. esculenta var. esculenta).
[6] Bhojwani, S.S., Dantu, P.K., 2013. Plant tissue culture: an introductory text. Springer. https://doi, org/10,1007/978-81-322-1026-9_17.
[7] Gupta, N., Jain, V., Joseph, M.R., Devi, S., 2020. A review on micropropagation culture method. Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development 8, 86–93.
[8] Murashige, T., Skoog, F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant 15, 473–497.
[9] Du, H.M., Tang, D.M., Huang, D.F., 2006. 'Fragrant taro' [Colocasia esculenta (L.) Schott var. antiquorum] micropropagation using thidiazuron and benzylaminopurine. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 81, 379–384.
[10] Kepue, M.S., Mweu, C.M., Kariuki, D.M., Kerubo, L., Njaci, I., Njoroge, A., Kago, L., Mware, B.O., Ghimire, S.R., 2021. An efficient in-vitro regeneration system of Taro (Colocasia esculenta L. Schott) using apical meristems. African Journal of Biotechnology 20, 293–299. https://doi.org/10.5897/AJB2020.17115.
[11] Hala, S.M.S., ELNagar, M.M., Mohamed, M.H., Badr, L.A., Aliwa, M.E., 2023. Micro propagation of Egyptian taro using tissue culture technique. Benha Journal of Applied Sciences 8, 55–65.
[12] Djoudi, N., Hadji, B., 2020. Application de la biotechnologie de la culture in vitro pour les plantes médicinales. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
[13] Rodrigues, D.T., Novais, R.F., Venegas, V.H.A., Dias, J.M.M., Otoni, W.C., Villani, E.M. de A., 2013. Chemical sterilization in in vitro propagation of Arundina bambusifolia Lindl. and Epidendrum ibaguense Kunth. Revista Ceres 60, 447–451. https://doi.org/10.1590/s0034-737X2013000400001.
[14] Ramakrishnan, M., Ceasar, S.A., Duraipandiyan, V., Ignacimuthu, S., 2014. Efficient plant regeneration from shoot apex explants of maize (Zea mays) and analysis of genetic fidelity of regenerated plants by ISSR markers. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC) 119, 183–196.
[15] Seetohul, S., Puchooa, D., Ranghoo-Sanmukhiya, V.M., 2007. Genetic Improvement of Taro (Colocasia esculenta var esculenta) through in-vitro mutagenesis. University of Mauritius Research Journal 13.
[16] Bogale, A., 2018. Micro-propagation of Colocasia esculenta (cv. Bolosso I) from corm and sprout tip explants. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development 10, 147–156.
[17] Manju, B.E., Mbong, A.G., Fokunang, N.C., Tembe-Fokunang, A.E., Hanna, R., 2017. Application of in-vitro micropropagation technique for sustainable production of four local taro cultivars [Colocasia esculenta (L.) Schott] in Cameroon.
[18] Brown, C.E., 1998. Coefficient of variation, in: Applied Multivariate Statistics in Geohydrology and Related Sciences. Springer, pp. 155–157.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1240-1248
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Effets de l'incorporation de la farine de manioc dans l'alimentation des poulets de chair (Cobb 500) sur les paramètres organoleptiques de la viande, la qualité des carcasses et les poids relatifs des organes de digestion

[Effects of the incorporation of cassava flour in the feed of broiler chickens (Cobb 500) on the organoleptic parameters of the meat, the quality of the carcasses and the relative weights of the digestive organs]

Doumouya Souleymane[1], Traoré Beh[2], Kandé Brahima[3], Diabaté Nadiara[3], and Keita Abdoulaye[3]

[1]UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie de Cytologie animale, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie de Cytologie animale, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

[3]UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité végétale, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present work was carried out with the aim of studying the influence of cassava flour (Manihot esculenta) on the quality of the carcass, weight of relative organs and the organoleptic parameters of broiler meat. The experiment involved three hundred (300) one-day-old «Cobb 500» broiler chicks, distributed among 18 experimental units comprising six treatments and three repetitions each. Six diets were used, namely, two control diets (Rt1 and Rt2) containing corn as the main source of energy and four experimental diets comprising 25% (R25), 50% (R50), 75% (R75) respectively. and 100% (R100) cassava flour. The experiment lasted 35 days. The results of the analyzes revealed that chickens fed with diets containing cassava flour had carcass yields which decreased and also the relative weights of the digestive organs (liver, gizzard, pancreas and intestine) increased with the increase in the rate of digestion. inclusion of cassava flour in the ration. Diets did not have a significant effect on meat texture, juiciness and tenderness. However, beyond 50% inclusion rate of cassava flour, diets (R75) and (R100) influence the flavor and the color of the meat. In conclusion, cassava flour at an incorporation rate above 50% in broiler feed did not have a significant effect on carcass yield, but influences the flavor and color of the meat.

KEYWORDS: Flour, Cassava, Broiler chicken.

RESUME: Le présent travail a été réalisé dans l'objectif d'étudier l'influence de la farine de manioc (*Manihot esculenta)* sur la qualité de la carcasse, poids des organes relatifs et les paramètres organoleptiques de la viande des poulets de chair. L'expérience a porté sur trois cents (300) poussins chair «Cobb 500» d'un jour d'âge, répartis dans 18 unités expérimentales comportant six traitements et trois répétitions chacun. Six régimes alimentaires ont été utilisés, à savoir, deux régimes témoins (Rt1 et Rt2) contenant du maïs comme principale source d'énergie et quatre régimes expérimentaux comportant respectivement 25% (R25), 50% (R50), 75% (R75) et 100% (R100) de la farine de manioc. L'expérimentation a duré 35 jours. Les résultats des analyses ont révélé que les poulets nourris avec les régimes contenant la farine de manioc ont les rendement carcasse qui diminuent et aussi les poids relatifs des organes de digestion (foie, gésier, pancréas et intestin) augmentent avec l'augmentation du taux d'inclusion de la farine de manioc dans la ration. Les régimes alimentaires n'ont pas eu d'effet significatif sur la texture, la jutosité et la tendreté de la viande. Cependant, au-delà de 50% de taux d'inclusion de la farine de manioc, les régimes (R75) et (R100) influencent la flaveur et la couleur de la viande. En conclusion, la farine de manioc à un taux d'incorporation au-delà de 50 % dans l'alimentation des poulets de chair n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement carcasse, mais influence la flaveur et la couleur de la viande.

MOTS-CLEFS: Farine, Manioc, Poulet de chair.

Corresponding Author: Doumouya Souleymane

1 INTRODUCTION

Pour combler le déficit entre la demande en protéines animales et le niveau de productivité des animaux en Côte d'Ivoire, l'incitation à la production des espèces à cycle court telle que la volaille demeure l'une des solutions **[15].** Cette stimulation de la productivité de la volaille devrait passer entre autres par l'amélioration de son alimentation. Le défi actuel serait de trouver des alternatives aux sources protéiques habituelles en alimentation avicole par la valorisation des ressources alimentaires locales **[18].** Parmi ces ressources alternatives se trouve le *Manihot esculenta*. Dans les pays tropicaux notamment, en Côte d'Ivoire, *Manihot esculenta* est une ressource largement disponible avec une grande importance économique **[9].** Ses tubercules sont riches en énergies (390,05 Kcal/100 g), en minéraux, en vitamines **[24].** Certains auteurs ont déjà utilisé les feuilles et les épluchures de *Manihot esculenta* comme source de source d'énergie dans l'alimentation des poulets de chair (**[18], [20], [7])**. Cependant, il existe très peu de données consacrées à la valorisation de la farine des tubercules de *Manihot esculenta* dans l'alimentation des poulets de chair en Côte d'Ivoire. La présente étude a été conduite afin d'évaluer les caractéristiques de la carcasse, les poids relatifs des organes de digestion et les paramètres organoleptiques de la viande des poulets de chair Cobb $_{500}$ nourris avec un aliment contenant de la farine de *Manihot esculenta.*

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE

2.1 MATÉRIEL ANIMAL

Trois cents (300) poussins, âgés d'un jour, de souche Cobb 500, d'un poids moyen de 45,74 ± 16,7 g, ont été utilisées dans cette étude. Ceux-ci ont été élevés à la ferme expérimentale de UNA.

2.2 MATÉRIEL ALIMENTAIRE

Les aliments expérimentaux étaient composés de plusieurs intrants que sont le tourteau de soja importé, le maïs jaune, la farine de manioc, le son de blé, la farine basse de riz, la farine de poisson, CMV, et le sel issu du commerce. Six formules alimentaires, respectant les besoins nutritionnels des poulets de chair, ont été utilisées pour l'essai. Il s'agit des aliments contenant respectivement 0, 25, 50, 75 et 100 % de farine de manioc. Ces aliments ont été désignés par Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 respectivement 0, 25, 50, 75 et 100 % de farine de manioc. Ils ont été formulés à l'aide du tableur Excel 2016. Ils ont été formulés dans l'objectif d'être isoénergétiques.

2.3 MÉTHODES D'ÉTUDE

2.3.1 MESURE DU POIDS CARCASSE, DES ORGANES ET LA QUALITE DE LA VIANDE DES POULETS EN FONCTION DU TYPE D'ALIMENT

2.3.1.1 POIDS CARCASSE ET POIDS RELATIFS (PR) DES ORGANES DES POULETS EN FONCTION DU TYPE D'ALIMENT DES POULETS

Dix-huit (18) poulets âgés de 35 jours ont été choisis par régime alimentaire. Ils ont été préalablement pesés individuellement après 8 heures de jeûne puis abattus par saignée. Après 5 min de rigidité cadavérique, les poulets ont été plumés à l'eau chaude, éviscérés et débarrassés des pattes et de la tête. Ensuite, la carcasse obtenue a été pesée et identifiée en fonction du régime. Les valeurs de poids obtenues pour chaque régime alimentaire ont été mises en commun sans distinction de sexe pour en sortir le poids moyen carcasse (Pmc) et le rendement carcasse (RmC) par régime selon les formules suivantes.

$$Pmc\ (g) = \frac{P1 + P2 + Pn + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots . + P18}{18}$$

Pmc: poids moyen des carcasses

P1: poids de la carcasse 1,

P2: poids de la carcasse 2,

P18: poids de la carcasse 18.

2.3.1.2 ENRÔLEMENT ET CHOIX DES PANÉLISTES

L'estimation des propriétés sensorielles de la viande de poulet a été faite par une équipe de panélistes. Bien avant, un effectif de 80 candidats habitués ou non à la consommation de la viande de poulets a subi trois (3) séances de formation sur les paramètres à tester. Après ces 3 séances, 70 panélistes ont été sélectionnés pour les tests organoleptiques. Hormis la carcasse, tous les autres paramètres ont été évalués sur des viandes ayant subi une maturation de 24 h à 4 °C au réfrigérateur.

2.3.1.3 ANALYSE SENSORIELLE

Après l'évaluation du poids des carcasses, celles-ci ont été conservées au réfrigérateur à 4°C pendant 24 h. Pour les paramètres biochimiques et sensoriels, 06 carcasses ont été prélevées pour chaque régime alimentaire. La chair du bréchet de 06 poulets de chaque groupe a été prélevée pour l'étude de la qualité de la couleur et des paramètres biochimiques. Une moitié de la chair du bréchet a été prélevée pour les analyses biochimiques et l'autre moitié coupée en lamelles pour l'estimation de la couleur de la viande. Les résultats obtenus pour chaque paramètre ont été mis en commun en fonction du régime alimentaire sans distinction de sexe. Le choix du bréchet réside dans le fait que chez le poulet, c'est cette partie qui renferme une quantité de chair suffisante pour les différents paramètres à étudier.

2.3.1.4 ÉTUDE DE LA QUALITE SENSORIELLE DE LA VIANDE DE POULET

Les propriétés sensorielles telles que la jutosité, la texture, la tendreté et la flaveur ont été appréciées selon une échelle de 1 à 4. La disposition des panélistes était faite de manière à éviter toute communication. Lors de la dégustation, aucun morceau de viande n'a été dégluti après mastication **[27].** Aussi, chaque panéliste s'est-il rincé la bouche avec de l'eau minérale après chaque morceau. Au cours du test organoleptique, tous les paramètres ont été testés à trois reprises.

2.3.1.5 ANALYSES STATISTIQUES

Les résultats obtenus au cours cette étude ont été analysés grâce au logiciel Statistica Version 7.1. Les valeurs moyennes par régime issues des critères d'études ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), suivie d'une comparaison de moyenne selon le test de Newman-Keuls au seuil de signification de 5 %. Les calculs numériques et la construction des graphiques ont été effectués avec le logiciel Excel.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA CARCASSE

Les rendements carcasses varient de 85,5% (régime Rt1) à 72,3% (régime R100). Selon l'analyse statistique au seul de 5%, la farine de manioc a eu un effet sur les rendements carcasses des animaux nourris avec régimes R75 et R100 comparé aux autres régimes. Le rendement carcasse diminue avec l'augmentation du taux d'inclusion de la farine de manioc dans l'aliment. Les rendements en abats varient 13,10% (régime Rt1) à 14,3% (régime R100) (**tableau I**). Il n'existe pas de différence entre les rendements en abats des poulets nourris avec les aliments Rt1, Rt2, R25 et R50. Seuls les rendements en abats des poulets nourris avec l'aliment R75 et R100 sont supérieur comparé à ceux des autres traitements ($p<0,05$). L'aliment R100 et R75 ont permis de produire les plus faibles indices de gras (1,65±0,34% et 1,68±0,21) et l'indice de gras le plus élevé a été obtenu avec l'aliment Rt1 (2,03%). Le taux de graisse abdominale des poulets diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de manioc. Le poids relatif des organes de digestion (foie, gésier, pancréas et intestin) augmente avec le taux d'inclusion de la farine de manioc dans l'aliment.

Table 1. Poids relatifs (PR) des organes des poulets en fonction du type d'aliment

Paramètres	Traitements						SE	*p*
	Rt1	Rt2	R25	R50	R75	R100		
Poids vif vide (kg)	1,60a	1,59a	1,58a	1,55a	1,20b	1,20b	23,05	0,049
Rdt carcasse (%)	85,5a	84,8a	83,6a	83,2a	72,5b	72,3b	32,06	0,083
Rdt abat (%)	13,10a	13,15a	13,20ab	13,26ab	14,1b	14,3b	8,14	0,015
PR du foie (%)	1,40a	1,40a	1,42a	1,43a	1,85b	1,90b	0,42	0,001
PR du gésier (%)	2,10a	2,12a	2,17ab	2,25bc	2,46c	2,48c	1,81	0,007
PR du pancréas (%)	0,17a	0,17a	0,18a	0.19a	0,25b	0,28b	0,08	0,013
PR intestin (%)	2,05a	2,07a	2,15b	2,25bc	2,40c	2,45c	1,35	0,001
L. intestin (cm)	187a	192a	198ab	201ab	211b	215	155	0,002
Densité intestine	0,25a	0,25a	0,25a	0,24a	0,24a	0,24a	0,01	0,712
Indice du gras (%)	2,03a	1,97a	1,90a	1,80a	1,65b	1,68b	1,02	0,028

Sur les mêmes lignes, les moyennes indexées par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Duncan; Rdt=Rendement; PR= Poids relatif; L=Longueur. Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

3.2 IMPACT DES REGIMES ALIMENTAIRES SUR LES PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES DE LA VIANDE DES POULETS EN FONCTION DU REGIME ALIMENTAIRE

3.2.1 APPRECIATION DE LA COULEUR DE LA VIANDE

L'appréciation de la couleur de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire est représentée par la figure 1. Pour la couleur de la viande, seulement (46%) R25 (30%) R50 (5%) R75 et (6%) R100 des panélistes ont attesté que les viandes des poulets nourries avec l'aliment R25, R50, R75 et R100 sont rouge, contre (45%) Rt1 et Rt2 (50%) pour la viande des poulets témoins. Les viandes des régimes R75 et R100 sont les plus blanches selon les panélistes respectivement de 60 % pour R75 et 65 % pour R100. Le test statistique appliqué au choix des panélistes montre que les poulets des régimes R75 et R100 ont une viande significativement plus blanche que la viande des poulets soumis aux régimes témoin ($p < 0,05$). Cependant la viande des poulets du régime R50 a été déclarée rosé clair par les panélistes avec un taux de 40 ± 1,4% et 30 ± 1,2%, pour les poulets des régimes R75 et R100. Pour cette couleur, la viande des poulets des régimes Rt1, Rt2 et R25 ont eu les taux de panélistes significativement faibles ($p < 0,05$).

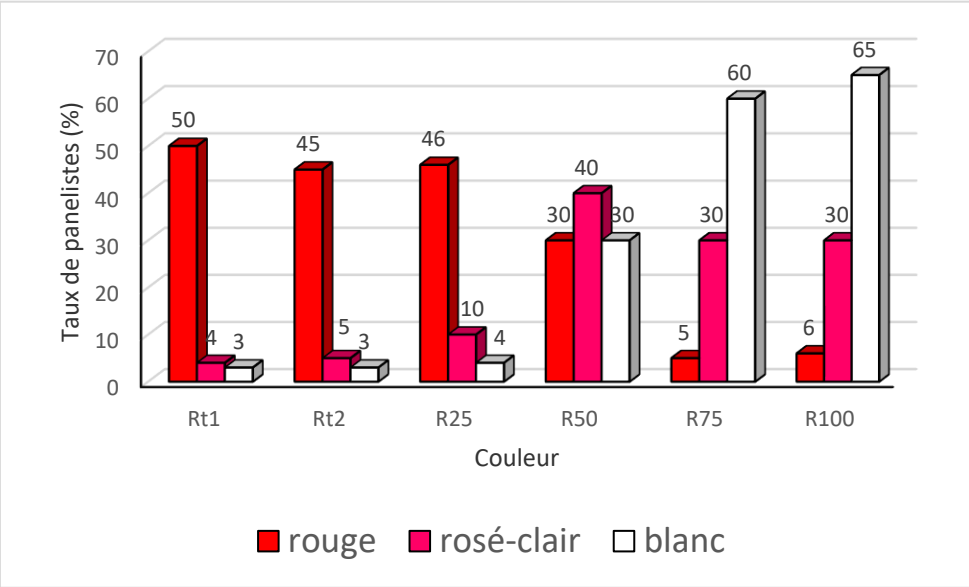


Fig. 1. Pourcentage de panélistes sur l'évaluation de la couleur de la viande des poulets en fonction des régimes alimentaires

Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

3.2.2 APPRECIATION DE LA JUTOSITE DE LA VIANDE DES POULETS EN FONCTION DU REGIME ALIMENTAIRE

3.2.2.1 JUTOSITE À LA CUISSON DE LA VIANDE DES POULETS

Les données relatives à la jutosité de la cuisson de la viande de poulet en fonction du régime alimentaire sont consignées dans le tableau II. L'analyse statistique de ces données ne montre pas de différence significative entre les viandes des lots Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100, quel que soit le régime alimentaire ($p > 0,05$). Cette jutosité est de 61, 18 ± 3,19%, 60, 11 ± 2,47% pour la viande des poulets des régimes témoin, 58, 82 ± 3,26%, 58, 55 ± 2,19%, 58, 43 ± 3,38 et 58, 01 ± 2,08 pour la viande des poulets des régimes R25, R50, R75 et R100.

Table 2. Jutosité de cuisson de la viande de poulets en fonction du régime alimentaire

Catégorie de viande	Jutosité de cuisson (%)
Viande de poulets nourris avec le régime témoin 1 (Rt1)	61, 18 ± 3,19[a]
Viande de poulets nourris avec le régime témoin 2 (Rt2)	60, 11 ± 2,47[a]
Viande de poulets nourris avec le régime 25% (R25)	58, 82 ± 3,26[a]
Viande de poulets nourris avec le régime 50% (R50)	58, 55 ± 2,19[a]
Viande de poulets nourris avec le régime 75% (R75)	58, 43 ± 3,38[a]
Viande de poulets nourris avec le régime 100% (R100)	58, 01 ± 2,08[a]

Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

3.2.2.2 JUTOSITE EN BOUCHE DE LA VIANDE DES POULETS

L'appréciation de la jutosité en bouche par les panélistes est représentée par la **figure 2.** L'analyse de cette figure indique que la viande de poulet reste juteuse, quel que soit le régime alimentaire. Les échantillons de viandes ont toutes été jugés juteux par les panélistes à un de taux de 69,1 ± 1,23% et 68,05 ± 1,37% respectivement pour la viande des poulets des régimes témoin et 67,2 ± 2,11%, 68,10 ± 1,66%, 67,5 ± 1,17% et 67,10 ± 1,13% celles des poulets aux régimes R25, R50, R75 et R100. Aucune différence significative n'a été montrée entre les viandes des différents régimes alimentaires (p > 0,05) pour ce paramètre.

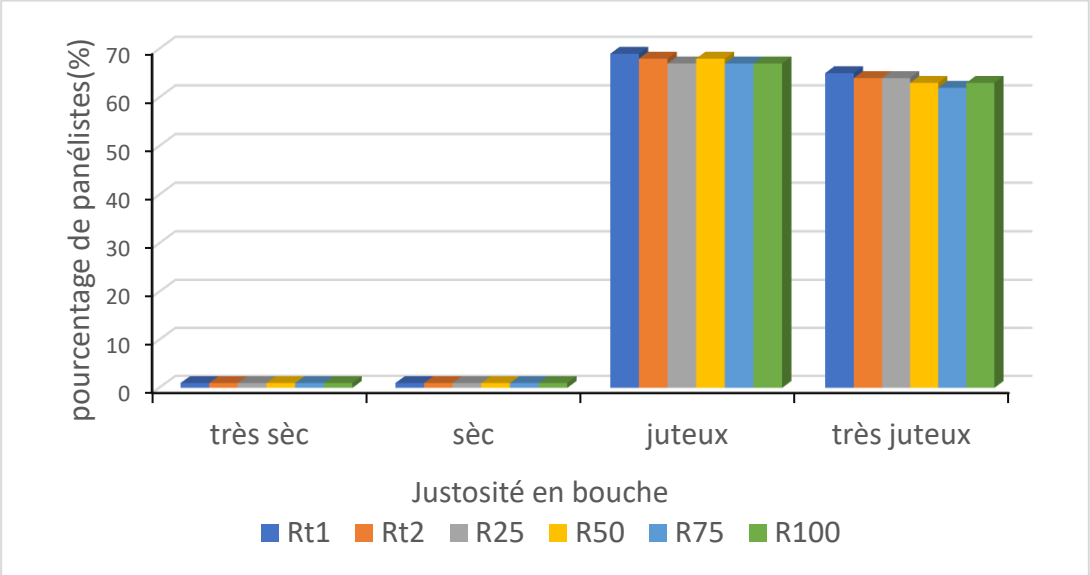


Fig. 2. Appréciation de la jutosité en bouche de la viande cuite des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire

Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

3.2.3 TEXTURE DE LA VIANDE DES POULETS EN FONCTION DES REGIMES ALIMENTAIRES

L'appréciation de la texture de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire est représentée par la **figure 3**. L'analyse de cette figure montre que les panélistes ont trouvé toutes les viandes fines. Pour ce paramètre, aucune différence significative n'a été observée entre les différents choix des panélistes (p > 0,05). Ce taux était de 94,14 ± 2,3% et 93, 36% pour les poulets des régimes témoin, et de 91,12 ± 1,2%, 90,22 ± 2,5%, 89,05 ± 3,1% et 90,21 ± 1,05% pour celles du régime R25, R50, R75 et R100. Concernant le caractère " très fin", 10,26 ± 2,1% et 11,11 ± 3,02% des panélistes l'ont adopté pour la viande des poulets des régimes témoins, contre 08,14 ± 5,5%, 08,14 ± 5,5%, 09,25 ± 2,7% et 07,5 ± 2% pour ceux nourris avec l'aliment des régimes R25, R50, R75 et R100.

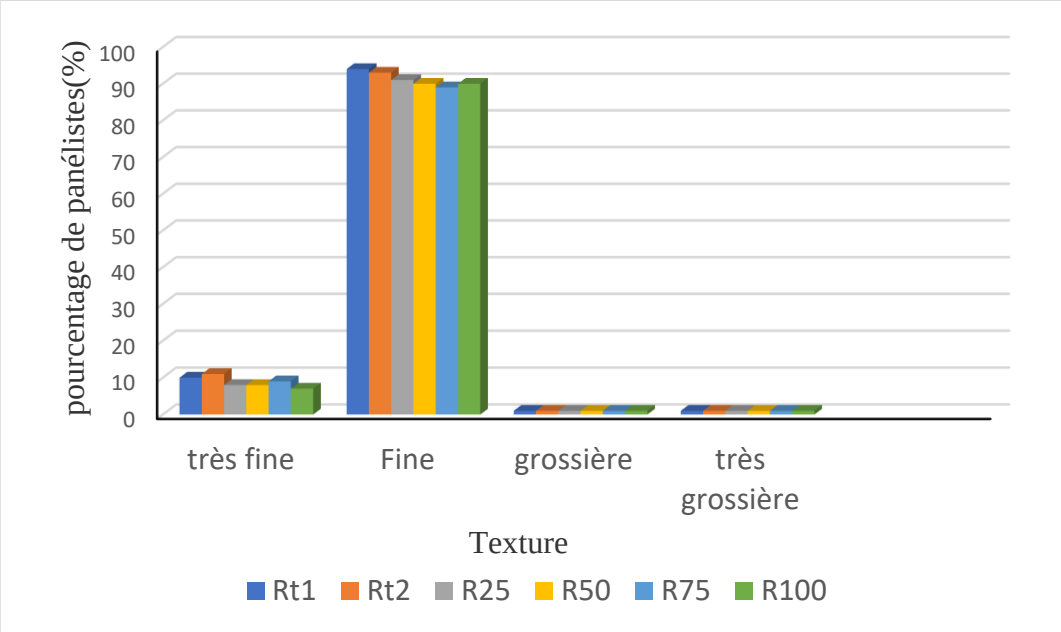


Fig. 3. Appréciation de la texture de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire

Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

3.2.4 TENDRETE DE LA VIANDE DES POULETS EN FONCTION DES REGIMES ALIMENTAIRES

L'appréciation de la tendreté de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire est représentée par la **figure 4**. Les panélistes ont noté que les viandes des animaux sont toutes tendres avec des valeurs de 65,6 ±2,4% et 65,1 ±2% pour les régimes témoin et 63,1 ± 1,16%, 63 ± 1,45%, 63,5 ± 1,40% et 63,5 ± 2,25% pour les poulets des régimes R25, R50, R75 et R100. Le test statistique appliqué aux données ne montre aucune différence significative entre les échantillons de viande témoins et les échantillons de viandes des régimes expérimentaux pour ce qui concerne la tendreté de la viande ($p > 0,05$). Concernant le caractère "très tendre", aucune différence significative n'a été observée également entre les catégories de viande ($p < 0,05$). En effet, les pourcentages de panellistes sont de 54,5 ± 1,13%; 53,3 ± 1,25%, 52 ± 2,2% et 51,1 ± 1,16% respectivement pour la viande des poulets des régimes témoin, et ceux des poulets des régimes R25, R50, R75 et R100.

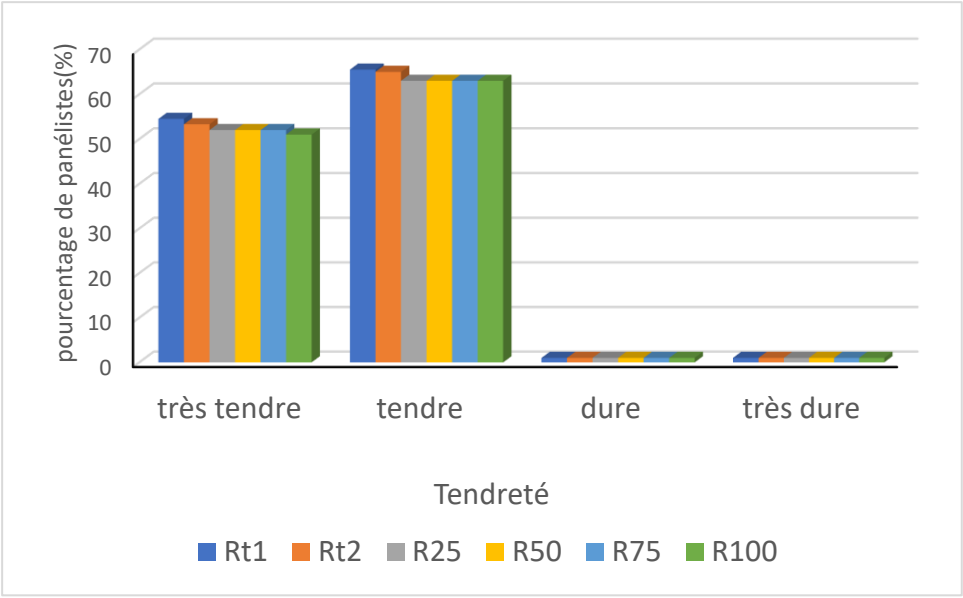


Fig. 4. Appréciation de la tendreté de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire

Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

3.2.5 FLAVEUR DE LA VIANDE DES POULETS EN FONCTION DES REGIMES ALIMENTAIRES

L'appréciation de la flaveur de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire est représentée par la **figure 5**. L'analyse de cette figure montre que les panélistes ont trouvé la flaveur de la viande de poulet prononcée respectivement 84,12 ± 1,01% et 83,43 ± 0,08% pour les poulets des groupes témoin et 83,20 ± 0,05%, 83 ± 0,09%, 78 ± 0,08% et 77 ± 0,08% pour les poulets nourris avec les aliments R25, R50, R75 et R100. Le test statistique appliqué aux données montre une différence significative entre les échantillons de viande R75 et R100 et les autres échantillons de viandes des autres régimes pour ce qui concerne la flaveur de la viande ($p < 0,05$). Le régime alimentaire influence donc la flaveur de la viande des poulets. La sensation "très prononcée " a présenté une différence significative entre les échantillons et a été mentionnée par 25,5 ± 0,1% et 25 ± 0,05% des panélistes pour la viande des poulets des régimes témoin Rt1 et Rt2 alors 24,15± 0,35%, 24 ± 0,05%, 20,5± 0,11% et 20± 0,25% pour la viande des poulets des régimes R25, R50, R75 et R100.

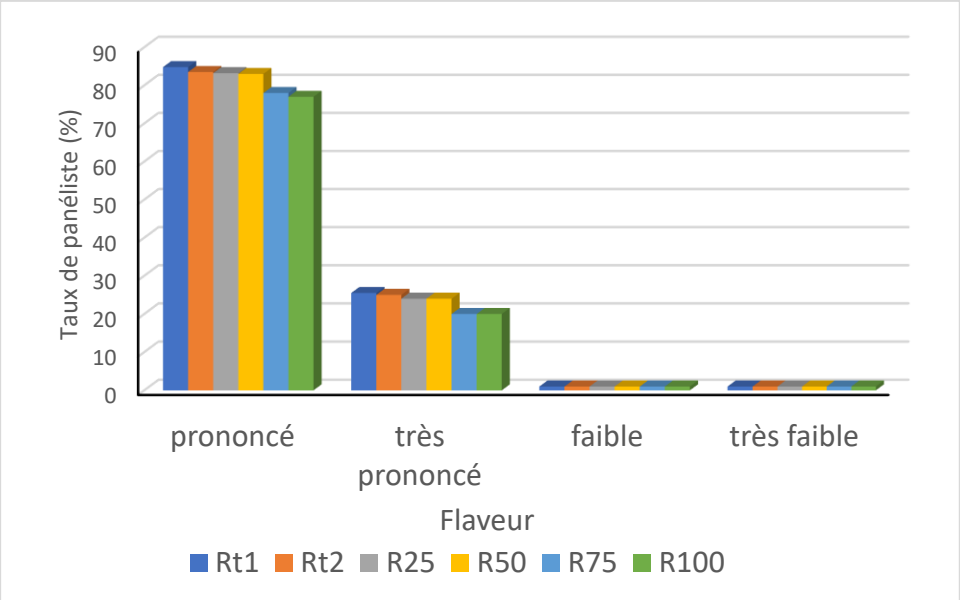


Fig. 5. Appréciation de la flaveur de la viande des poulets par les panélistes en fonction du régime alimentaire

Chaque valeur est la moyenne ± écart type de 6 lots de 16 poulets. Rt1, Rt2, R25, R50, R75 et R100 sont les régimes alimentaires contenant respectivement 0%, 25%, 50%, 75% et 100% de farine de manioc.

4 DISCUSSION

La farine de manioc a eu un effet sur les rendements carcasses et les poids des organes des poulets nourris avec différents types de régimes. Il existe une différence entre les rendements carcasses des animaux nourris avec les aliments R75 et R100 comparés avec les autres types, aussi il y'a une diminution de ces paramètres avec l'augmentation du taux de la farine de manioc dans l'aliment. La tendance inverse est observée avec les rendements en abats. Ces résultats confirment ceux de **[18]** qui après substitution du maïs par la farine d'épluchures de manioc à des taux croissants ont enregistré une baisse du rendement carcasse. Les travaux de **[17]** portant sur la substitution partielle ou totale du maïs par la farine de manioc dans l'aliment des poulets de chair ont abouti à cette même conclusion. Cependant, les poids obtenus dans cette étude sont supérieurs à ceux obtenus par ces derniers auteurs.

L'augmentation du niveau d'incorporation de la farine de manioc dans la ration tend à augmenter le poids relatif des organes de digestion (fois, gésier et pancréas) chez les poulets. Ce résultat concorde avec ceux de **[18] et [17]** qui ont rapporté que le poids relatif de ces mêmes organes augmente avec des taux croissants de farine d'épluchures de manioc et la farine de manioc dans l'aliment. Selon ces auteurs, l'augmentation du poids relatif du foie serait probablement due à une intense activité de cet organe qui intervient dans la détoxification de l'acide cyanhydrique.

La substitution du maïs par la farine de manioc tend à augmenter le poids relatif et la longueur de l'intestin. Cela serait dû au fait que la farine de manioc a un taux de cellulose brute relativement plus élevé que celui du maïs. Selon **[1],** chez les monogastriques, un taux

élevé de cellulose stimulerait la croissance et l'épaississement des parois du tractus digestif. Dans le même sens, **[28]** avaient déjà émis l'hypothèse selon laquelle l'ingestion d'une teneur élevée en cellulose augmenterait le poids du tractus digestif. Ce résultat entre aussi en droite ligne avec ceux de **[30]** qui ont rapporté que l'augmentation du poids des organes digestifs des oiseaux peut être attribuée dans une certaine mesure, à la présence d'une haute concentration de matières indigestes dans l'intestin de ces oiseaux.

La viande des poulets nourris avec l'aliment contenant 0, 25% et 50% la farine de manioc a été considérée plus rouge que ceux des aliments contenant 75 et 100% la farine de manioc. Plus le taux d'incorporation de la farine de manioc est important, plus la viande est moins rouge (blanche). Cette coloration serait due à la présence d'amidon en quantité abondante dans la farine de manioc. En effet, selon **[25],** la farine de manioc est très riche en amidon digestif. Cet amidon digestif serait responsable de l'amplification de la couleur blanche ou pâle. Ce résultat contraire à ceux été obtenus par **[14]** en introduisant 10 à 15% d'incorporation de farine de feuilles de manioc dans l'alimentation des poulets de chair ou locaux. Cet auteur, lors de ses expériences a constaté un jaunissement prononcé de la peau, du bec, des pattes et de la graisse abdominale de ces volailles. La réalisation de l'appréciation de la jutosité a permis de confirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre la viande provenant des poulets nourris avec des régimes alimentaires différents. Les résultats de l'étude sont similaires avec ceux trouvés chez les poulets et les cailles par **[26] et [19].** Ces auteurs ont constaté lors de leurs expériences que le régime alimentaire n'a pas d'impact sur la jutosité de la viande de volaille. En ce qui concerne la texture, les différents échantillons de viandes testés par les panélistes lors de notre étude étaient toutes fins. Ces résultats permettent de conclure que le régime alimentaire n'a pas eu d'effet sur la texture de la viande des poulets **[13].** Les viandes des poulets de nos différents groupes expérimentaux ont été toutes considérées tendres par les panélistes lors de la dégustation. Nos résultats d'études étayent la thèse de **[18], [31], [5].** Ces auteurs ont rapporté que la conduite alimentaire n'a aucun effet significatif sur la tendreté de la viande. En revanche, **[10], [3], [11]** ont montré que l'alimentation influence la tendreté de la viande. Aussi, un stress thermique avant l'abattage réduit la tendreté **[23].** Toutes les viandes testées lors de l'étude par les panélistes ont eu une flaveur prononcée (80%) quel que soit le régime alimentaire. La flaveur de la viande de poulet semble être dénaturée par le régime alimentaire selon le taux d'inclusion croissant de la farine de manioc dans l'aliment. Ces résultats pourraient s'expliquer par le taux de matières grasses contenues dans les différentes viandes. En effet, selon **[12], [4], [29] et [18],** la teneur d'une viande en lipides intramusculaires est un composant essentiel dont découle la flaveur. Les viandes des différents groupes des poulets dans l'étude ont montré des taux de matières grasses différents selon le taux d'incorporation de la farine de manioc dans l'aliment, ce qui expliquerait la différence au niveau de leur flaveur. En revanche, **[6], [8]** a montré dans leurs différents travaux que le régime alimentaire des animaux agirait sur la flaveur de la viande. Ce qui est le cas dans notre expérimentation.

5 CONCLUSION

En somme, nous retenons que la comparaison de l'effet des types d'aliments à base de farine de manioc sur les poids carcasses et organes de digestion des poulets de chair montre qu'un taux d'inclusion jusqu'à 50% de farine de manioc permet de produire des poulets de poids carcasses et organes de digestion comparables à la ration contenant uniquement que le maïs

Au-delà de 50% de la farine de manioc dans l'aliment, les paramètres organoleptiques tels que la couleur et la flaveur des viandes présentent une différence en comparaison avec les autres.

REFERENCES

[1] F.A. Aderemi and F.C Nworgu, Nutritional Status of Cassava peel and Root Sieviat Biodegraded with Aspergillus Niger. American-Eurasien, Journal Agricultural and Environnement Science, vol. 2, no. 3, pp. 308-311, 2007.

[2] AOAC., 1995. Official methods of analytical (13th ed) Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., USA, 771 p.

[3] Benatmane C, Impact des aliments enrichis an acides gras polyinsaturés n-3 sur les performances zootechniques et la qualité nutritionnelle des viandes: cas du lapin et du poulet de chair. Mémoire pour l'obtention du grade de Docteur en Science Agronomique. Facultés des Sciences Biologiques et Agronomiques, Université Abou bekr belkaid-tlemcen, 113p. 2012.

[4] N.D. Cameron, P.D. Warris, S.J. Porter and M.B. Enser, Comparaison of Duroc and British landrace pigs for meat and eating quality. *Meat Science*. vol.1, no.27, pp. 227-247, 1990.

[5] M. Candek-Potokar, L. Lefaucheur, M. Zlender Band Bonneau, Effects of age and/or weight at slaughter on pig longissimus dorsi muscle biochemical traits and sensory quality in pigs. *Meat Science,* no.48, pp. 287–300, 1998.

[6] Cartier P and Moevi, Le point sur la qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Institut de l'Élevage: Paris, p72, 2007.

[7] M. Dahouda, S.S. Toleba, AKI. Youssao, A.A. Mama Ali, S. Ahounou, J-L. Hornick, Utilisation des cossettes et des feuilles de manioc en finition des pintades (Numida meleagris, L): performances zootechniques, coûts de production, caractéristiques de la carcasse et qualité de la viande. *Annale de Médecine Vétérinaire,* vol. 1, no. 153, pp. 82-87, 2009.

[8] P.A. Dufey, Viande bovine de montagne et qualité. *Rev. Suisse Agric,* vol.1, no.41, pp. 245-250, 2009.

[9] G. Effo Kra, A.A. Adaye, Y. Koffie-Bikpo, Contribution des systèmes de production du manioc à la disponibilité alimentaire. *Agronomie Africaine,* vol. 31, no.3, pp. 235 - 247, 2019.

[10] M. Ellis, A.J. Webb, P.J Avery and Brown I, The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork, *Animal Science,* vol.1, no.62, pp. 215-30, 1996.

[11] E. Evrem, E.O. Esin, H. Ozlem, Effect of 16 L: 8D photoperiod on growth performance, carcass characteristcs, meat composition, and parameters of Pekin ducks. *Turkish Journal of veterinary and Animal Science,* vol.1, no.39, pp.568-575, 2015.

[12] J.P Girard, J. Bout, D. Salort, Lipides et qualités des tissus adipeux et musculaires de porc: facteurs de variation. *Journées de Recherche Porcine en France,* vol.1, no.20, pp. 255-278, 1988.

[13] Houria B, Évaluation de la qualité nutritionnelle et organoleptique des viandes blanches: cas de la Dinde et Poulet 81 p. 2017.

[14] F.C. Iheukwumere, E.C. Ndubuisi, A. MaziE, and M.U. Onyekwere,. Performance, nutrient utilization and organ characteristics of broilers fed Cassava leaf meal 19 (Manihot esculenta Crantz). *Pakistan Journal of Nutrition,* vol.7, no.3, pp. 13-16, 2008.

[15] IPRAVI (Interprofession Avicole Ivoirienne), 2017. (Annuaire de l'Aviculture, 4ème édition (www.ipravi.com), (Page consultée le 12/11/23).

[16] K.E. Kouadio, G.S. Kouadja, K.L. Bamba and K. Kreman, Effet de la farine d'épluchures de manioc sur les performances zootechniques et économiques du poulet de chair en finition, *Livestock Research for Rural,* vol. 32, no.3, pp. 2020, 2020.

[17] H. Mafouo Ngandjou, A. Teguia, H.K Mube and M. Diarra, 2011. Effet de la granulométrie de la farine de manioc comme source d'énergie alimentaire alternative sur les performances de croissance des poulets de chair. *Livestock Research for Rural Development*. Vol. 22, no. 214. Retrieved August 2, 2019, from.

[18] A. R. N'Guessan, B.D. Amanidja, D. Soro and B Y. F. Tuehi, Effets de l'incorporation de la farine de feuilles de Moringa oleifera dans l'alimentation des cailles (Coturnix japonica) sur les performances zootechniques et organoleptique de la viande. *Journal of Animal & Plant Sciences (Journal. Animal. Plant Sci*. ISSN 2071-7024), Vol.45, no.1, pp. 7771-7782, 2020.

[19] N'Guessan A.R, Utilisation des farines de graines de *Cajanus cajan* et des feuilles de *Moringa oleifera* dans l'alimentation des cailles (*Coturnix japonica* Temminck & Schlegel, 1849): effets sur les performances zootechniques, la santé, la qualité de la viande et des œufs. Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, 194p, 2020.

[20] O. R. Ngueda Djeuta, K. Tona., Effets des feuilles de *Manihot esculenta* dans l'aliment sur les performances de croissance des poulets de chair Sasso (XL431NA). *Quatorzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 9 et 10 mars 2022.*

[21] G. Pasin, G. M. Smith. and M. Mahony, Rapid determination of total cholesterol in egg yolk using commercial diagnostic cholesterol reagent. *Food Chemistry,* vol.1, no.61, pp. 255–259, 1998.

[22] Perrin R.K., Winkemann D.L., Moscardi E.R. et Aderson J.R, Comment établir des conseils aux agriculteurs à partir des données expérimentales. Mexico. CIMMYT (Edicion especial). 38p, 1979.

[23] Pingel H., Knust U, Review on duck meat quality. C.R. WPSA l 'l Symposium Européen sur la Qualité de la Viande de Volaille, Tours, France, 43p, 1993.

[24] V.A. Randrianatoandro, Etude de la valeur nutritionnelle de quatre variétés de *manioc* et d'une variété de *maïs* et leur utilisation dans l'alimentation infantile. Mémoire de fin d'étude, Université d'Antananarivo 103p, 2004.

[25] Ratsimbazafy Zananirindrainy M.L.O, Effet de l'utilisation du taux élevé du manioc (manihot utilissima) dans la ration des poulets de chair: cas de la souche hubbard classic. Mémoire de fin d'étude, Université d'Antananarivo 103p, 2013.

[26] Schreurs, Post-mortem changes in chicken muscle. *World's poultry science journal,* vol.1. no.16, pp. 319-346, 2000.

[27] Soro Soronikpoho, Influence d'un aliment granulé à base de fourrage paramètres zootechniques et l'état sanitaire de l'aulacode (Thryonomys swinderianus) d'élevage en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua (UNA), UFR SN Côte d'Ivoire, 215 p, 2016.

[28] A. Teguia, H.N.L. Endeley and A.C. Beynen, Broiler, Performance upon Dictary Substitutes of Cocoa Husks for Maize International, *Journal of Poultry Science,* vol.2, no.12, pp.779-782, 2004.

[29] C Touraille, Les performances de croissance et la qualité de la large white de viande et de porcs locaux élevés dans les tropiques. *Symposium sur le porc chinois, Toulouse,* vol.1, no.12, pp. 241 254, 1990.

[30] A. Viveros, A. Brenes, R. Elices, I. Arijai and R. Canales, Nutritional value of raw and autoclaved kabuli and desi chickpeas (Cicer arietinum L.) for growing chickens. *British Poultry Science* vol1, no.42, pp.242-251, 2001.

[31] M. J. Wood, R Kay, R. H. Dworkin, S.-J. Soong, R.J. Whitley, Oral Acyclovir Therapy Accelerates Pain Resolution in Patients with Herpes Zoster: A Meta-analysis of Placebo-Controlled Trials *Clinical Infectious Diseases,* Vol 22, no. 2, pp. 341–347, 1996.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1249-1256
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Effets d'aliments contenant des tourteaux de coton et coprah sur les performances de croissance des larves de tilapia *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) « souche Brésil » élevées en aquarium (Côte d'Ivoire)

[Effects of diets containing cotton seed oil cake and coconut oil cake on the growth performance of tilapia larvae *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) « Brazil strain » reared in aquariums (Côte d'Ivoire)]

Youssouf Diabagate, Yacouba Bamba, Kouamé Richmond N'Zue, Barthélemy Zie, and Allassane Ouattara

Université NANGUI ABROGOUA, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique (LEBA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A feeding study was conducted at the NANGUI ABROGOUA University fish farm between August and September 2022. It assesses the effects of one an imported extruded diet (KOUDIJS) used as a reference (AR) and three practical diets (ACOP, ACOT and MA), on growth and cost-benefit ratio. These diets contain 30% protein. The basic composition of formulated diets is: ACOP (coconut and soybean oil cakes, rice and wheat bran, vegetable oil); ACOT (cotton seed and soybean oil cakes, rice and wheat bran, vegetable oil) and AM (Cotton seed, coconut and soybean oil cakes, rice and wheat bran, vegetable oil). Larvae weighing 145 mg ± 6 were fed to satiety in 8 aquariums at the density of 4 larvae/L. The larvae were fed at 9h, 11h, 13h and 15h. After 35 days of rearing, the final average weights obtained were 1.45 ± 0.01g, 1.51 ± 0.01g and 1.67 ± 0.01g, respectively for ACOP, AM and ACOT, against 1.85 ± 0.06g for AR. The best feed conversion index (CI= 1.31 ± 0.04) and daily growth (1.71 ± 0.06g/day) were obtained with AR, followed by ACOT. The highest feed conversion index (CI= 1.68 ± 0.01) and lowest daily growth (1.33 ± 0.00g/day) were recorded with ACOP. Compared to AR, formulated diets reduced feed cost per unit weight gain by 66-71%.

KEYWORDS: *Oreochromis niloticus,* larvae, feeding, agricultural by-products, production.

RESUME: Une étude d'alimentation a été menée à la ferme piscicole de l'Université NANGUI ABROGOUA entre août et septembre 2022. Elle évalue les effets d'un aliment extrudé importé (KOUDIJS) utilisé comme référence (AR) et de trois aliments locaux (ACOP, ACOT et AM), sur la croissance et le ratio coût-bénéfice. Ces aliments titrent 30% de protéines. La composition de base des aliments formulés est: ACOP (tourteaux de coprah et soja, sons de riz et blé, huile végétale); ACOT (tourteaux de coton et soja, sons de riz et blé, huile végétale) et AM (Tourteaux de coton, coprah et soja, sons de riz et blé, huile végétale). Des larves pesant 145 mg ± 6 ont été nourries à satiété dans 8 aquariums à la densité de 4 larves/L. Les larves ont été nourries à 9h, 11h, 13h et à 15h. Après 35 jours d'élevage, les poids moyens finaux obtenus ont été de 1,45 ± 0,01g, 1,51 ± 0,01g et 1,67 ± 0,01g respectivement pour ACOP, AM et ACOT, contre 1,85 ± 0,06g pour AR. Le meilleur indice de conversion alimentaire (IC= 1,31 ± 0,04) et de croissance journalière (1,71 ± 0,06g/jour) ont été obtenus avec AR, suivi de ACOT. Le plus grand indice de conversion alimentaire (IC= 1,68 ± 0,01) et la plus faible croissance journalière (1,33 ± 0,00g/jour) ont été enregistrés avec ACOP. Comparés à AR, les aliments formulés ont réduit le coût d'alimentation par unité de gain de poids de 66 à71%.

MOTS-CLEFS: *Oreochromis niloticus,* larves, alimentation, sous-produits agricoles, production.

Corresponding Author: Youssouf Diabagate

1 INTRODUCTION

Le tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* représente 85 % de la production aquacole totale de tilapias [1], selon la même source, la production actuelle du tilapia *O. niloticus* marchand est réalisée à partir de population monosexe mâle, de façon à éviter les reproductions incontrôlées et indésirables et à obtenir de meilleurs rendements [2-4].

En Côte d'Ivoire, la production de *O. niloticus* rencontre plusieurs obstacles parmi lesquels (i) la faible qualité nutritionnelle des aliments locaux, (ii) la faible disponibilité d'aliment importé de qualité, (ii) le coût des aliments importés jugé élevé par les acteurs, et surtout (vi) le manque d'alevins de qualité. L'amélioration de cette dernière contrainte passe nécessairement par la production massive d'alevins monosexes mâles à travers la technique de l'inversion du sexe des larves [1,5]. Cette voie de production d'alevins pourrait contribuer à l'augmentation de la production du poisson [3]. Toutefois, dans les pays en développement, les difficultés résident dans l'acquisition des aliments exogènes adéquats pour le nourrissage des larves [6,7]. Ces aliments exogènes destinés à produire les alevins monosexes (0-1g) sont jugés très chers par les exploitants et sont surtout difficilement accessibles. Face à cette situation, l'utilisation d'aliments locaux adaptés est nécessaire afin de tirer d'une part, un avantage économique, et d'autre part de maximiser l'efficacité de la conversion de l'aliment et la croissance [8]. Beaucoup d'auteurs sont d'avis que chez le tilapia, la combinaison de plusieurs sous-produits agricoles dans des formules alimentaires pourrait réduire les coûts de production tout en améliorant la rentabilité des exploitations [9, 10]. Certains de ces résidus agricoles accessibles en Côte d'Ivoire sont les tourteaux de coton, coprah, soja, sons de blé et de riz. Dans les pays ouest africains en général, et en Côte d'Ivoire en particulier, l'emploi des sous-produits agricoles dans l'alimentation des larves de *O. niloticus* est très peu décrit. C'est dans cette optique que s'oriente l'objectif général de cette étude qui consiste à tester dans l'alimentation des larves de tilapia *O niloticus* « souche Brésil » élevées en aquarium, deux types de sous-produits agricoles (tourteau de coton et de coprah) incorporés chacun dans un type d'aliment. Ensuite, d'évaluer un éventuel gain économique des formules expérimentales testées en vue d'une production future d'alevins nourris avec des aliments locaux.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 INFRASTRUCTURES D'ÉLEVAGE ET POISSONS EXPÉRIMENTAUX

L'expérimentation a été réalisée à la ferme expérimentale de l'Université NANGUI ABROGOUA (5°23'30" de latitude Nord et 4°0'56" de longitude Ouest) à Abidjan en Côte d'Ivoire. Le dispositif expérimental se compose d'un ensemble de huit (08) aquariums (Longueur x Largeur x Hauteur: 32,4 cm x 21,4 cm x 21 cm), à raison de 2 aquariums par traitement alimentaire. Ces aquariums ont chacun un volume d'eau utile de 14,5 litres. Ils sont équipés de bulleur servant d'aérateur. Toutes ces structures sont alimentées en eau manuellement à partir d'un bassin de décantation. L'eau en provenance du robinet séjourne 72 heures d'abord dans le bassin d'alimentation avant d'être utilisée pour le renouvellement de l'eau des aquariums.

Les essais ont porté sur des larves de tilapia *Oreochromis niloticus* « souche Brésil » d'un poids moyen corporel de 145 ± 1,6 mg. Ces larves de 28 jours d'âge ont été obtenues à partir des géniteurs d'un poids moyen corporel de 100 ±18 g pour les femelles et 200 ±22 g pour les mâles.

2.2 ALIMENTS EXPÉRIMENTAUX ET PRÉPARATION

Pour les essais d'alimentation, nous avons utilisé trois aliments locaux dénommés ACOP, ACOT et AM et un aliment industriel (KOUDIJS) servant de référence (AR). Ces aliments locaux étaient formulés à partir de matières premières constituées de sons de riz et de blé, des tourteaux de coprah, coton et soja, de l'huile végétale, du sel de cuisine, de la farine de coquille et premix. Les tourteaux de soja, de coton et de coprah ont été utilisés comme sources de protéines. Ces aliments formulés étaient isoprotéiques (environ 28% de protéines brutes) de compositions de base suivantes: aliment ACOT (sons de riz et blé, tourteaux de coton et soja, premix); aliment ACOP (sons de riz et blé, tourteaux de coprah et soja, premix) et aliment AM (sons de riz et blé, tourteaux de coton, coprah et soja, premix). Quant à l'aliment de référence (AR: KOUDIJS), c'est un aliment extrudé importé du Vietnam et tirant 30% de protéines. Cet aliment de référence ainsi que les matières premières utilisés ont été achetés sur le marché local auprès des fournisseurs. Tous les aliments expérimentaux étaient sous forme pulvérulente.

Pour la fabrication des aliments formulés (ACOT, ACOP et AM), les matières premières brutes ont été rendues en poudre à l'aide d'un broyeur à marteau de fabrication locale et passées à travers un tamis de maille un millimètre. Pour chaque aliment, les ingrédients ont été pesés et mélangés à l'aide d'un mélangeur local jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène. A cet ensemble, les huiles végétales et le premix ont été ajoutés puis, l'ensemble a été mélangé de sorte à obtenir un produit homogène. Les compositions bromatologiques des quatre aliments expérimentaux sont présentées dans le Tableau I. Les analyses ont été effectuées par « Techna nutrition » de France.

Table 1. Composition chimique (% matière sèche) et teneur en acides aminés indispensables (en % de protéine) des régimes expérimentaux

Composition (%)	Traitements alimentaires				
	Aliment ACOP	Aliment AM	Aliment ACOT	Aliment AR	Besoin en acides aminés essentiels
Matière sèche	83,48	83,48	82,96	89,70	
Protéine brute	28,52	28,45	28,38	30	
Lipides	6,07	6,70	9,13	4,51	
Fibres	11,10	10,10	8,35	7,28	
Cendres	5,32	5,22	5,28	6,99	
Energie Métabolisable (MJ / kg de MS)	3,07	3,20	3,49	3,26	
Composition en acides aminés essentiels (en % de protéine)					
Arginine	10,43	9,46	7,80	6,34	4,20
Lysine	4,28	4,41	4,51	5,01	5,12
Méthionine	1,68	1,59	1,61	2,26	2,68
Histidine	2,66	2,56	2,59	2,13	1,72
Phénylalanine	4,10	4,64	4,53	4,53	3,75
Tyrosine	2,96	3,31	3,22	3,29	3,75
Leucine	6,28	6,38	6,31	4,82	3,39
Isoleucine	4,75	3,98	4,08	3,40	3,11
Valine	4,62	4,64	4,73	3,43	2,80
Thréonine	3,58	3,19	3,27	3,72	3,75
Ratio Arginine et Lysine					
Arginine/Lysine	2,44	2,14	1,73	1,66	0,82

*ACOT: Aliment local contenant du tourteau de coton; AM: Aliment local mixte contenant les tourteaux de coton et coprah; ACOP: Aliment local contenant du tourteau de coprah; AR: Aliment extrudé importé utilisé comme référence, * Besoin en Acides Aminés essentiels (AAE) (NRC, 2011).*

2.3 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Les expériences ont été effectuées durant 35 jours. Deux cycles de production ont été réalisés. Pour l'empoissonnement des aquariums, les larves ont été pesées à l'aide d'une balance électronique de marque Terraillon (précision 0,01 g). Différentes pesées ont été effectuées pour réaliser la densité de mise en charge appliquée de 4000 ind./$m^{3,}$ soit 60 larves/aquarium. Deux aquariums ont été utilisés par traitement alimentaire. Les lots de larves de 145 ± 6 mg ont été nourris quotidiennement à refus (ad libitum) à raison de 2 g par aquarium par jour la première semaine. Par la suite, des rations de 4 g (deuxième semaine au troisième) et 7 g (quatrième à la septième semaine d'élevage) ont été appliquées à tous les aquariums. Les rations alimentaires quotidiennes ont été servies manuellement en quatre repas (9h, 11H, 13h et 15h). Des contrôles de croissance pondérale ont été effectués toutes les semaines, soit après 7 jours d'élevage. Ces contrôles ont permis de réajuster conséquemment, les quantités d'aliment distribuées de la semaine subséquente. A l'issue du 35ème jour d'élevage, 50 alevins ont été prélevés dans chaque aquarium et ont fait l'objet de mesure du poids individuel [11] pour les traitements statistiques de comparaison. A partir de ces données, différents paramètres de performances zootechniques et de coûts utilisés ont été calculés.

L'aspect économique ne prend en compte que les coûts de revient d'un kilogramme de chacun des aliments utilisés et le coût de chaque aliment pour produire un kilogramme de gain de poids (coût d'alimentation par unité de prise de poids). En outre, tous les aquariums ont été vidés de leur contenu pour évaluer la production à la survie.

Le suivi de la qualité de l'eau des aquariums a consisté à faire des relevés de pH, d'oxygène dissous (mg/L) et de température (°C). Le pH et la température ont été mesurés à l'aide d'un multi-paramètre portable « HANNA Instruments HI 991001 pH & Water Analysis ». Quant à l'oxygène dissous, il a été mesuré au moyen d'un oxymètre portable « HANNA Instruments HI 9146 ». Les mesures ont été réalisées toutes les semaines, entre 6 et 7 h et entre 15 h30 -16 h00 [12].

2.4 CALCUL DES PARAMÈTRES UTILISÉS

Plusieurs paramètres ont été pris en compte pour estimer la croissance des poissons en fonction des traitements alimentaires et caractériser l'efficacité d'utilisation de l'aliment distribué. Ces paramètres ont été calculés suivant les formules présentées dans le tableau II.

Table 2. Calcul des paramètres zootechniques et du coût des aliments

Paramètres	Formules	Utilités
Taux de survie (TS, %)	(Nombre final de poissons / Nombre initial de poissons) x100	Evaluer la rusticité des poissons
Gain de poids (GP, g)	Poids final (g) - Poids initial (g)	Evaluer la croissance pondérale des poissons pendant un temps donné
Croissance Individuelle Journalière (GPj, g/j)	(Poids final (g) - Poids initial (g)) / Durée de nourrissage (j)	Permet d'apprécier le gain de poids journalier des poissons en élevage
Taux de croissance spécifique (TCS, %/j)	[(Ln Pf - Ln Pi) / Durée de nourrissage (j)] × 100	Evaluer le gain de poids journalier des poissons en pourcentage de leurs poids vifs
Quotient nutritif (Qn)	Quantité d'aliment sec distribuée (g) / Gain de poids frais (g)	Indicateur de l'efficacité de l'aliment.
Coefficient d'Efficacité Protéique (CEP)	Gain de poids frais (g) / Quantité de protéine ingérée (g)	Valorisation des protéines contenues dans la ration alimentaire
Coût lié à l'alimentation par unité de gain de poids	Coût de 1 kg d'aliment x Qn	Permet de définir l'efficacité économique des aliments
Energie Métabolisable (EM, MJ/kg de MS)	= 3,95 + [0,0544 x % lipides] - [0,0887 x % fibres] - [0,0408 x % cendres] (Sibbald, 1980).	Permet d'évaluer la valeur énergétique du régime alimentaire
Rendement (kg/a/an)	Biomasse nette (kg) x 365) / [durée d'élevage x Superficie (a)]	Permet d'évaluer la productivité
Production nette ou Biomasse nette (kg)	Biomasse finale (kg) - Biomasse initiale (kg)	Détermine la valeur pondérale globale ajoutée
Taux de réduction du coût des aliments extrudés comparé aux régimes non extrudés (%)=	100 x ([coût de l'aliment (y) non extrudé - coût de l'aliment (y) extrudé] / [coût de l'aliment (y) non extrudé])	Permet d'évaluer le coût et efficacité des aliments par rapport à une référence

2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été vérifiées pour une distribution normale par le test de Kolmogorov Smirnov. Les paramètres zootechniques et la qualité de l'eau ont été soumis à l'analyse de variance (ANOVA) à deux caractères (aliment et aquarium) pour tester les différences entre les traitements alimentaires. Lorsque les différences entre les groupes ont été identifiées, plusieurs comparaisons entre les moyennes ont été effectuées à l'aide du test de la différence vraiment significative de Tukey (test HSD de Tukey). Pour ces comparaisons, le seuil de signification de 5 % a été retenu. Ces analyses ont été exécutées à l'aide du logiciel SPSS, version « IBM SPSS Statistics 20 ».

3 RESULTATS

3.1 QUALITÉ DE L'EAU

La température a été relativement élevée et similaire dans tous les aquariums pendant toute l'expérience avec des moyennes allant de 26,27 °C à 26,41 °C. Les valeurs moyennes d'oxygène dissous calculées vont de 8,53 mg/L à 8,79 mg/L. Quant au pH, les valeurs moyennes ont été comprises entre 7,31 et 7,65. Dans l'ensemble, les valeurs moyennes des paramètres de qualité de l'eau étaient similaires (p > 0,05) dans tous les aquariums expérimentaux. Les conditions de culture ont donc été considérées comme identiques.

3.2 CROISSANCE PONDÉRALE

La figure 1 présente l'évolution du poids moyen des larves de *O. niloticus* « souche Brésil » nourris avec trois aliments locaux (AM, ACOP et ACOT) et industriel importé (AR.) durant les 35 jours en aquarium. Toutes les courbes présentent la même tendance évolutive à l'issue de 7 jours d'élevage (p > 0,05; ANOVA 2). A l'issue du deuxième contrôle, trois lots de croissance pondérale se distinguent de

manière significative ($p < 0,05$) et maintiennent cette tendance jusqu'à la fin de l'expérience. Le premier lot est constitué par les larves nourries avec l'aliment industriel servant de référence (AR) et les deux autres sont constitués, respectivement, de ceux recevant l'aliment local ACOT et les aliments ACOP et AM. Les poids moyens engendrés par les aliments ACOP et AM sont similaires ($p > 0,05$). Les poissons nourris avec l'aliment de référence (AR) présentent une croissance pondérale supérieure ($p < 0,05$) à celles de ceux nourris avec les aliments locaux, suivi par celle des larves ayant reçu l'aliment local contenant le tourteau de coton (ACOT). Le troisième groupe constitué des lots recevant les aliments locaux contenant le tourteau de coprah (ACOP et AM) ont la même allure évolutive de croissance. Ce troisième groupe contenant le tourteau de coprah montre une croissance plus faible qui se maintient tout au long de l'expérience.

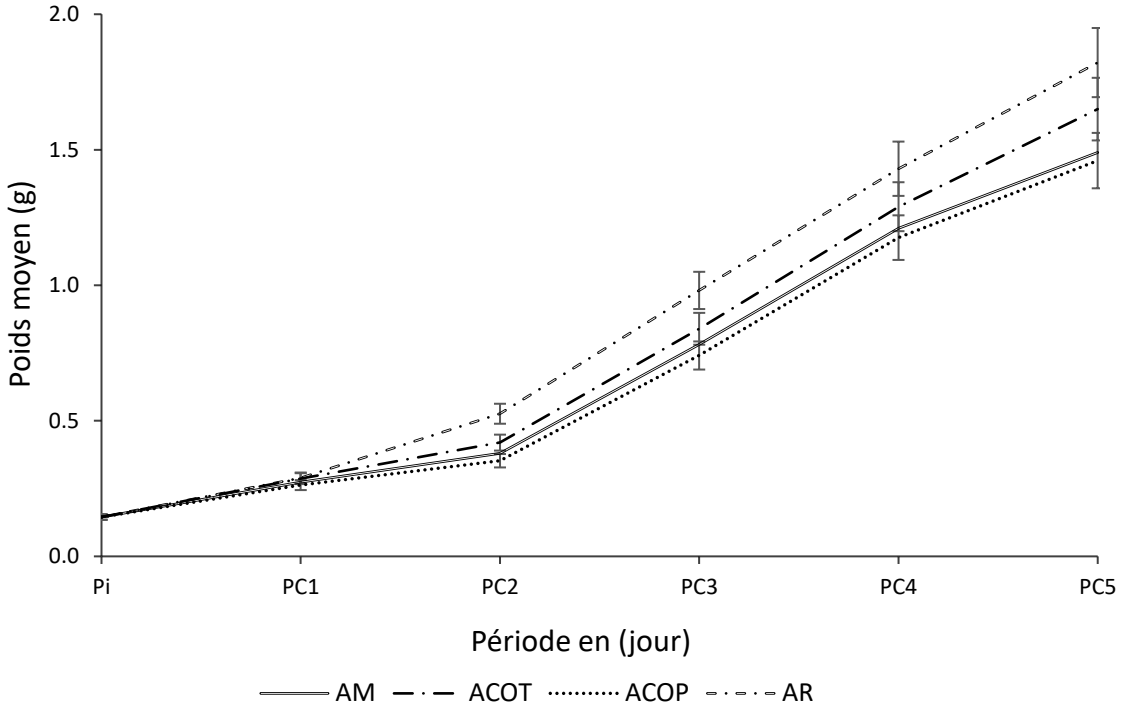


Fig. 1. Variation de la croissance pondérale des larves de Oreochromis niloticus élevées en aquarium en fonction du temps et du type d'aliment à densité constante

Les barres verticales indiquent les écart-types inter-duplicata, ACOP Aliment local à base du tourteau de coprah; ACOT: Aliment local à base du tourteau de coton; AM: Aliment local mixte à base des tourteaux de coton et coprah; AR: Aliment de référence (KOUDIJS).

3.3 PARAMÈTRES ZOOTECHNIQUES

Les résultats des paramètres zootechniques chez les larves *Oreochromis niloticus* sont présentés dans le Tableau III. Les valeurs ont varié significativement ($p < 0.05$) entre les traitements alimentaires. La croissance procurée par l'aliment industriel est meilleure que celles obtenues avec les trois aliments locaux. Ainsi, les gains de poids journalier ont varié de 1,33 ± 0,0g (ACOP) à 1,71 ± 0,06g (AR). Dans le même ordre de comparaison, les poids moyens finaux correspondants vont de 1,48 ± 0,015g (ACOP) à 1,85 ± 0,06g (AR). Les taux de croissance spécifiques (TCS) calculés ont varié de 5,95 ± 0,01 (%/jour) à 6,53 ± 0,08 (%/jour) respectivement pour les aliments ACOP et AR. En d'autres termes, l'aliment AR a un meilleur taux de croissance spécifique (TCS), suivi des aliments ACOT. Les aliments ACOP et AM ont eu des valeurs très voisines. Les indices de conversion alimentaires calculés sont compris entre 1,68 ± 0,04 (ACOP) et 1,31 ± 0,04 (AR). Les aliments se caractérisés par des coefficients d'efficacité protéiques compris entre 2,12 ± 0,01 à 2,39 ± 0,08, respectivement pour ACOP et AR. Au niveau des aliments locaux, l'aliment contenant le coton ACOT présente donc la meilleure efficacité, suivi de l'aliment mixte (AM) contenant à la fois les tourteaux de coton et de coprah et en dernière position l'aliment contenant le tourteau de coprah. L'analyse de variance ne montre pas de différence significative entre les taux de survie. Ainsi, les valeurs récoltées sont 97,0 ± 0,50 (%), 96,50 ± 0,50 (%), 97,50 ± 0,52 (%) et 95,50 ± 0,50 (%) respectivement pour les aliments ACOP, AM, ACOT et AR. Toutefois, les meilleurs taux de survie sont enregistrés avec les aliments contenant le tourteau de coton.

Table 3. Performances zootechniques de Oreochromis niloticus nourris avec quatre aliments durant 35 jours

Paramètres	Traitements alimentaires			
	ACOP	AM	ACOT	AR
Poids moyen initial : Pmi (g)	0,145 ± 0,07[a]	0,145 ± 0,1[a]	0,145 ± 0,06[a]	0,145 ± 0,09[a]
Poids moyen final : Pmf (g)	1,48 ± 0,01[a]	1,51 ± 0,01[a]	1,67 ± 0,01[b]	1,85 ± 0,06[c]
Gain de poids : GP (g)	1,33 ± 0,00[a]	1,37 ± 0,01[a]	1,53 ± 0,01[b]	1,71 ± 0,06[c]
Gain de poids quotidien : GPj (g/j)	0,04 ± 0,00[a]	0,04 ± 0,00[a]	0,04 ± 0,00[a]	0,05 ± 0,00[b]
Taux de croissance spécifique : TCS (%/j)	5,95 ± 0,01[a]	6,01 ± 0,02[b]	6,27 ± 0,01[c]	6,53 ± 0,08[d]
Quotient nutritif : Qn	1,68 ± 0,01[a]	1,63 ± 0,02[a]	1,46 ±0,00[b]	1,31 ± 0,04[c]
Coefficient d'efficacité protéique : CEP	2,12 ± 0,01[a]	2,18 ± 0,02[a]	2,39 ± 0,01[b]	2,39 ± 0,08[c]
Taux de survie : Ts (%)	97,00 ± 0,50[a]	96,50 ± 0,50[a]	97,50 ± 0,52[a]	95,50 ± 0,50[a]

Les résultats ont été exprimés en: Moyenne ± ECT (écart type) de deux répétitions. Sur chaque ligne, les valeurs (Moyennes ± ECT) affectées par des lettres différentes, sont significativement différentes (P<0,05) et celles portant au moins une même lettre en commun, ne sont pas significativement différentes (P>0,05).

ACOT: Aliment local contenant du tourteau de coton; ACOP: Aliment local contenant du tourteau de coprah; (AM): Aliment mixte local contenant du tourteau de coton et du tourteau de coprah; AR: Aliment industriel (KOUDIJS) importé utilisé comme référence.

3.4 EVALUATION ÉCONOMIQUE

Concernant la charge financière liée au nourrissage, les résultats des différents paramètres évalués sont résumés dans le tableau IV**.** Les coûts de revient d'un kilogramme d'aliment pour ACOP, ACOT et AM ont été respectivement de 264,1F CFA, 258,9 F CFA et 259 F CFA, contre 1000 FCFA pour l'aliment de référence (AR). Comparées à l'aliment de référence (AR), ces valeurs observées ont généré, conséquemment, des taux de réduction de 73,59% (ACOP); 74,11% (ACOT) et 74,1% (AM). Les coûts liés à l'alimentation par unité de prise de poids ont été de 377,994; 422,17 et 443,688 FCFA, respectivement pour les aliments ACOT, AM et ACOP contre 1310 FCFA pour l'aliment référence. Comparés à l'aliment AR (référence), ces aliments formulés (ACOP, ACOT et AM) ont engendré une réduction des coûts liés au nourrissage par unité de prise de poids par des taux respectifs de 66,13 %; 71,14 % et 67,77 %.

Table 4. Evaluation des coûts de l'alimentation de Oreochromis niloticus en phase larvaire

Paramètres	Traitements alimentaires			
	ACOP	ACOT	AM	AR
Coût de revient d'un kilogramme d'aliment /kg (F CFA/kg)	264,1	258,9	259	1000
Indice de conversion : IC	1,68	1,46	1,63	1,31
Coût financier lié à l'alimentation par unité de prise de poids (F CFA/ kg gain de poids)	443,68	377,99	422,17	1310
Taux de réduction du coût de revient du kilogramme d'aliment / référence (%)	73,59	74,11	74,1	Néant
Taux de réduction du coût d'alimentation par unité de gain de poids/ référence (%)	66,13	71,14	67,77	Néant

ACOT: Aliment local contenant du tourteau de coton; ACOP: Aliment local contenant du tourteau de coprah; AM: Aliment mixte local contenant du tourteau de coton et du tourteau de coprah; AR: Aliment industriel (KOUDIJS) importé utilisé comme référence.

4 DISCUSSION

Dans la présente étude, tous les paramètres de la qualité de l'eau se dans la fourchette des valeurs recommandées (pH: 6 à 9, oxygène dissous ≥ 3 mg/L et température ≥ 25 °C) pour la pisciculture tropicale [13]. Dans l'ensemble, les différents paramètres physicochimiques étudiés (température, oxygène dissous, pH) ne diffèrent pas (ANOVA 2; $p > 0,05$) d'un aquarium à un autre et d'un traitement alimentaire à un autre. Les différences observées dans les performances de croissance entre les lots de poissons pourraient donc être attribuées à la performance des aliments expérimentaux.

Les meilleures performances de croissance ont été obtenues avec l'aliment industriel AR en comparaison aux aliments locaux (ACOT, ACOP, AM). L'écart de performances zootechniques observé entre l'aliment importé et les aliments locaux pourrait s'expliquer par l'effet de l'extrusion. Contrairement à l'aliment importé (référence AR) qui est extrudé, les aliments locaux formulés (ACOT, ACOP, AM) n'étaient pas extrudés. En effet, il est largement admis que la technique d'extrusion améliore les caractéristiques physiques et la digestibilité des aliments, ainsi que la disponibilité et la convertibilité des nutriments [14-16].

Les différences de performances de croissance constatées entre les aliments expérimentaux (ACOP, ACOT, AM et AR) résulteraient du déséquilibre en acides aminés essentiels notamment, la lysine et l'arginine. En effet, le ratio arginine/lysine optimal pour le tilapia du Nil est 0,82. Cependant, l'aliment importé a un ratio arginine/lysine de 1,26 tandis que celui des aliments locaux ACOT, AM et ACOP est respectivement de 1,73; 2,14 et 2,44. De ce qui précède, les meilleures performances obtenues avec l'aliment importé AR suivi de ACOT semblent donc être liées à leurs ratio arginine/lysine respectifs de 1,26 et 1,73 plus proches de l'optimal (arginine/lysine; 0,82) défini par [17] pour *O. niloticus*.

Au niveau des aliments formulés, les meilleures ($p < 0,05$; ANOVA 2) performances de croissance et d'utilisation des aliments ont été obtenues avec ACOT suivi de AM et ACOP. L'aliment local ACOT se distingue de AM et ACOP par une faible teneur en fibres (8,35 %) et des valeurs de lipides (9,13 %) plus grandes. A l'inverse, les aliments AM et ACOP renferment plus de fibres (10, 10% et 11,10 %, respectivement) et moins de lipides (6,7 et 6,07%, respectivement). En effet, certains auteurs [18, 19] ont mentionné que les hautes teneurs en fibres alimentaires (supérieures à 10%) conduisent à une faible efficacité digestive des enzymes et de performance des aliments. Des résultats similaires ont été enregistrés par d'autres auteurs [20, 21] chez *O. niloticus* nourri avec un aliment contenant plus de 10 % de fibres. Relativement aux lipides, des teneurs élevées dans l'aliment permettent aux protéines d'être efficacement utilisées pour la croissance du poisson. Cet effet d'épargne protéique par l'augmentation du taux de lipides de l'aliment a été déjà confirmé chez les salmonidés et démontré chez la plupart des autres espèces [22]. Des résultats similaires ont été également rapportés pour *Siganus rivulatus* [23].

Dans l'ensemble, les taux de survie enregistrés varient de 95,5 % à 97,5 %. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus (81,55% à 97,06%) par [24] avec la même souche de *O. niloticus* et proches de ceux enregistrés (94 % à 96% %) par [6] et de ceux obtenus (90 % à 100 %) par [25] avec d'autres souches de *O. niloticus*. Tout au long des essais, très peu de poissons morts ou moribonds ont été enregistrés. Les poissons morts ont été généralement observés un à après chaque contrôle de croissance. Ceci porte à croire que la mortalité observée résulterait vraisemblablement du stress lié à la manipulation. Concernant les indices de conversion alimentaire, les valeurs recueillies (1,31 à 1,68) sont comparables à celles enregistrées (1,27 à 2,98) par [26] en aquarium et supérieures à celles (1,1 à 1,3) rapportées par [6] en bassin en béton. Les différences observées pourraient être en relation avec les structures d'élevage. En effet, les études précédentes réalisées par [6] ont été conduites en bassin en béton à l'air ambiant où les alevins ont dû bénéficier des aliments naturels présents dans cette structure ouverte. A l'inverse, dans les aquariums, cette nourriture naturelle n'est pas présente, car les structures étaient siphonnées tous les deux jours.

Au regard des analyses de la rentabilité économique, les régimes locaux (ACOT, AM et ACOP) entraîne un gain économique grâce à leurs performances relativement bonnes et leur prix de revient au kilogramme relativement plus bas que celui de l'aliment importé. De plus, l'emploi des aliments locaux (ACOT, AM et ACOP) permet une réduction des charges liées au nourrissage du tilapia par unité de gain de poids par des taux compris entre 66,13 % et 71,14 %% par rapport à l'aliment industriel importé (AR). Les résultats de cette étude sont en accord avec ceux des travaux antérieurement réalisés par [26] où le taux de réduction des coûts liés à l'alimentation par unité de prise de poids a été compris entre 19,5 à 34,4%.

5 CONCLUSION

Le présent travail, a montré la possibilité d'élevage à moindre coût des larves de tilapia *O. niloticus* « souche Brésil » à base de sous-produits agricoles locaux. Les résultats obtenus montrent que les performances de croissance des larves nourris avec les aliments locaux à base de sous-produits agricoles sont proches de celles des lots de poissons nourris avec l'aliment importé (KOUDIJS) sans causer de préjudice à la croissance et aux survies des larves. De même, l'aliment contenant le tourteau de coton a été plus efficace que celui qui contient le tourteau de coprah. L'analyse de la rentabilité financière a révélé une économie d'utilisation des aliments locaux d'environ 66 à 71 % en comparaison à l'aliment industriel pour la production d'unité de prise de poids. Ainsi en cas d'indisponibilité ou de coût excessif de l'aliment industriel, ces aliments locaux peuvent donc le substituer et répondre aux besoins des pisciculteurs.

REFERENCES

[1] Lazard J., 2009. La pisciculture des tilapias. *Cahiers Agricultures,* 18 (2-3): 393-401.

[2] Lazard J. & Oswald M., 1995. Mixed culture of African catfish-tilapia. *Aquatic Living Resources,* 8: 455-463.

[3] Wessels S. & Hörstgen-Schwark G., 2007. Selection experiments to increase the proportion of males in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by means of temperature treatment. *Aquaculture,* 272S1: S80-7.

[4] Baroiller J. F., D'Cotta H. & Saillant E., 2009. Environmental effects on fish sex determination and differentiation. *Sexual Development,* (3): 118-135.

[5] Lacroix E., 2004. Pisciculture en zone tropicale. MAEP-Direction de la Programmation et de la Prospective (2011). Analyse économique des chaînes de valeurs des filières poisson et crevette. GTZ, GFA Terra Systems, Hamburg, 231p.

[6] Bamba Y., Ouattara A., Moreau J. & Gourene G., 2007. Apport relatif en nourriture naturelle et artificielle dans l'alimentation du tilapia *Oreochromis niloticus* en captivité*. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture,* 386: 55-68.

[7] Coulibaly A., Ouattara N. I., Kone T., N'douba V., Snoeks J., Goore Bi G. et Kouamelan E. P., 2007. First results of floating cage culture of the African catfish *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840: Effect of stocking density on survival and growth rates. Aquaculture 263: 61 - 67.

[8] Guzel S. et Arvas A., 2011. Effects of different feeding strategies on the growth of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *African Journal of Biotechnology,* 10 (25): 5048 - 5052.

[9] Richter H., Gonzal A., Focken U. & Becker K., 2004. Uptake of natural food and supplemental feed by cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., in laguna de Bay, Philippines. ICLARM *Conference Proceedings,* 6: 347-362.

[10] Liebert, F. & Portz, L. 2005. Nutrient utilization of Nile tilapia Oreochromis niloticus fed with plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. Aquaculture 248, 111– 119.

[11] Bamba Y., Ouattara S., Ouattara N., Doumbia L., Ouattara A., Da Costa K. S. & Gourene G., 2018. Effets d'alimentation à base de différentes sources de protéine végétale en combinaison avec la pelure de cacao, peau d'arachide et tourteau de coprah sur les performances de croissance du tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Science et technique, Sciences naturelles et appliquées. Spécial hors-série,* (4): 531-544.

[12] Zea Biue C., Ouattara I. N., Berte S. and Kamagate B., 2022. Performances zootechniques des alevins de trois souches du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* L., (1758) du paysage aquacole de la Côte d'Ivoire élevées en happa implante dans un étang, *Agronomie Africaine,* 34 (2): 191–1198.

[13] Ross L. G., 2000. Environmental physiology and energetics. In *Tilapias: Biology and Exploitation,* Beveridge MCM, McAndrew BJ (eds). Kluwer Academic Publishers: Great Britain; 89-128.

[14] Van Hoan N., 2008. Conditions d'utilisation d'un « cuiseur-extrudeur à très faible coût » pour la fabrication de farines infantiles au Vietnam. Université Montpellier 2 Sciences et Techniques du Languedoc. Ecole doctorale: Sciences des Procédés – Sciences des Aliments. Discipline: Nutrition et Sciences des aliments, 215 p.

[15] Feng Y. & Lee Y., 2014. Effect of Specific Mechanical Energy on In-Vitro Digestion and Physical Properties of Extruded Rice-Based Snacks. *Food and Nutrition Sciences,* 5: 1818-1827.

[16] Sarr S. M, Thiam A., Faye E. H., Séné M. and Ndiaye M., 2015. Production d'alevins de tilapia (*Oreochromis niloticu*s) avec 3 aliments à base de sous-produits agro-industriels au Nord du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 9 (5): 2598-2606.

[17] NRC (National Research Council), 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. Natl. Washington DC, USA, Academie. Press, 392 p.

[18] Francis G., Makkar H. P. S. & Becker K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture,* 199: 197-227.

[19] Krogdahl A., Penn M., Thorsen J., Refstie S. & Bakke A. M., 2010. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture Research,* 41: 333-344.

[20] Hilton J. W., Atkinson J. L. & Slinger S. J., 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (Salmo gairdneri). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 40: 81-85.

[21] Anderson J., Jackson A. J., Matty A. J. & Capper B. S., 1984. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture,* 37: 303-314.

[22] Boujard T., Vallee F. et Vachot C., 2004. Évaluation des rejets d'origine nutritionnelle de truiticultures par la méthode des bilans, comparaison avec les flux sortants. Dossier de l'environnement de l'INRA n°26, 32-34.

[23] Ghanawi J., Roy L., Davis D. A. & Saoud I. P., 2011. Effects of dietary lipid levels on growth performance of marbled spine foot rabbit fish Siganus rivulatus. *Aquaculture,* 310: 395-400.

[24] Zea Biue C., Ouattara I. N. and Berte S., 2019. Effets de la frequence de nourrissage sur les parametres zootechniques et le taux de masculinisation des larves de la souche « Brésil » du tilapia du nil *Oreochromis niloticus* (linnée, 1758) pendant et après le traitement avec le 17-α-methyltestosterone. *Agronomie Africaine,* 31 (3): 259 – 271.

[25] El-Sayed A.-F. M., 2002. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Research,* 33 (8): 621–626.

[26] Bamba Y., Ouattara N., Ouattara S., Ouattara A. & Gourene G., 2014. Effect of diets containing cocoa bean shell and coconut oil cake on the growth of *Oreochromis niloticus* (LINNE, 1758) in pond. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 8 (4): 1368-1380.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1257-1272
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

CLIMATE CHANGE AND WATER RESOURCES: APPLICATION OF THE SWAT MODEL TO THE SOUTH-EAST AGNÉBY WATERSHED OF IVORY COAST

Koné Brahima[1], Ismaila Ouattara[2], Dao Amidou[3], and Kamagaté Bamory[4]

[1]Geosciences and Environment Laboratory, (UFR-SGE), NANGUI ABROGOUA University, Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Assistant Lecturer in hydrology, (UFR-GMS) Geological and Mining Sciences, University of Man, Côte d'Ivoire

[3]Senior Lecturer in hydrology NANGUI ABROGOUA University, Abidjan, Côte d'Ivoire

[4]Geosciences and Environment Laboratory Full Professor in hydrology, (UFR-SGE), NANGUI ABROGOUA University, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to highlight the combined effects of climate change and anthropization on surface waters in the Agnéby watershed. The global hydrological balances produced by the SWAT model show that in the year 2050, precipitation will record a deficit of 1.87%, while actual evapotranspiration will be 2.80% higher. Groundwater recharge and runoff will be in deficit by 2.5% and 9.77% respectively, and stock variation will be in deficit by 36.62% compared with the reference period. For 2080, precipitation, groundwater recharge and runoff will be in deficit by 1.23%, 1.5% and 10.23% respectively. Actual evapotranspiration will show an excess of 3.37%, and the change in stock relative to the reference period will also show a deficit of 20.42%. The hydrological consequence of this state of affairs is the depletion of surface water resources over the years in the Agnéby watershed due to anthropogenic activities. The predominance of evapotranspiration can be explained by the fact that the area will be covered by large-scale farming operations. These could also be explained by the fact that the area will be less favorable to surface runoff than to infiltration.

KEYWORDS: Climate change, Water resource, Agnéby catchment, SWAT model, Ivory Coast.

1 INTRODUCTION

Human-induced climate change is causing dangerous and widespread disruption to nature and affecting the lives of billions of people around the world, despite efforts to reduce the risks. The populations and ecosystems least able to cope are the hardest hit, say scientists in the latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change [8]. Over the second half of the last century, water supplies declined in most of West Africa's main river basins. The reasons for this decline are a complex combination of climate change, land use and population growth. Studies based solely on climate projections therefore suggest that river flows could fall by a further 20-40% by 2050 [22].

In Côte d'Ivoire, the impacts of climate change are being studied as part of a wider programme on water resources. Similarly, studies carried out in certain catchment areas have also shown a decline in surface and groundwater resources [20]. The results show a decrease in rainfall [23]. [14] have characterised an increase in temperatures in studies carried out throughout Côte d'Ivoire.

The Agnéby catchment in south-eastern Ivory Coast has not been spared the effects of climate change. Work carried out on the runoff regime and anthropogenic activities has highlighted changes in the catchment's hydrological behaviour. Its rainfall regime has fallen by around 10% [13]. Depending on rainfall, runoff in the catchment has recorded a hydrometric deficit of almost 46% [10]. Between 1988 and 2020, degraded and dense forests under human control fell from 19.12% to 24.2% and 64.35% to 11.6% respectively, and by 2050 and 2080 they will have fallen from 24.2% to 11.4% and 11.6% to 6% respectively [12]. Agriculture remains a predominant sector of the national economy, employing 2/3 of the working population. Given that water resources are a vital component of development and that shortages are likely to be frequent in the region, it is important to act on adaptation to climate change for sustainable

development. Several physical hydrological models that take into account the multifactorial relationships between natural conditions and hydrological functions have been developed to simulate hydrological processes at the catchment scale. These include MODFLOW [16], TOPMODEL [3], SHE [1] and MODCOU [15]. Of these, SWAT has proved to be the most effective in reproducing the hydrological function of catchments on various occasions [19]. This work is being carried out in a context of pressure on water resources due to the combined influences of climate change and land-use dynamics on the sustainability of water resources by 2050 and 2080. Specifically, we are going to highlight the potential impacts of anthropisation and the terms of the catchment's water balance.

2 PRESENTATION OF THE STUDY AREA

The study area is located in West Africa, in the south-east forest of Ivory Coast. The catchment area studied is that of the Agnéby (Fig. 1). The Agnéby catchment lies between latitudes 33000 N and 429000 N and between longitudes 6300000 W and 750000 W. It covers an area of 8640 km^2. The basin borders the Bandama river to the west and the Comoé and Mé rivers to the east. The basin has a mild transitional equatorial climate, with cumulative rainfall of 1784 $mm.yr^{-1}$. The vegetation consists mainly of dense evergreen forest. The relief of the basin is characterised by altitudes ranging from 8 to 100 m on one side and 100 to 300 m on the other. The geology of the basin is based on Precambrian formations: arkosic schists north of Bongouanou and south of Agboville, mica-schists and granites in the central part. Its soil structure is divided into two types: ferralitic soils, both weakly and strongly denatured, found in the north and centre of the basin, and a complex of hydromorphic soils that have evolved little over small areas. Two rain gauge stations and one hydrometric station located in the area were selected for their data quality.

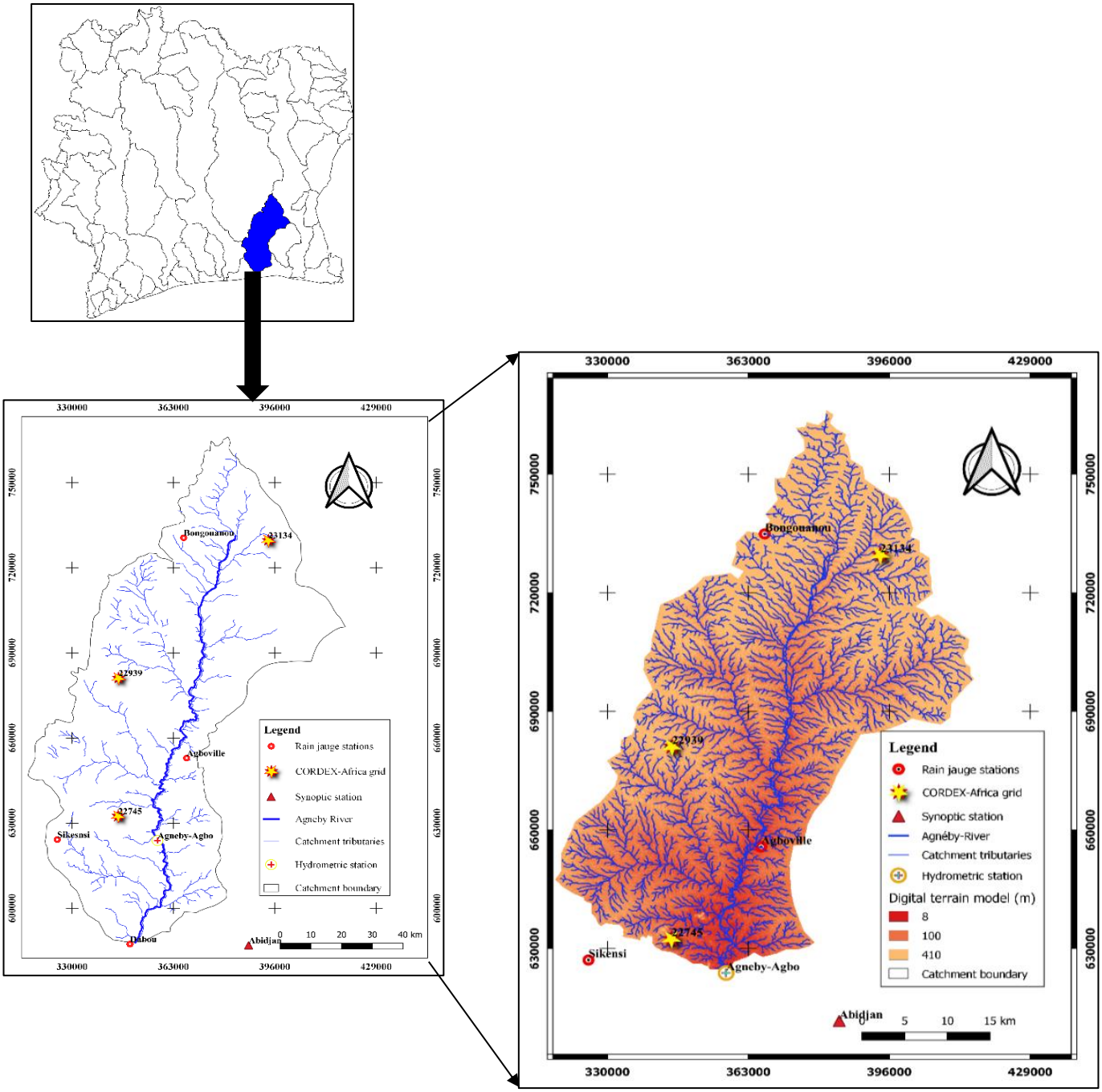


Fig. 1. Location of the Agnéby catchment area

3 DATA AND METHODS

3.1 DATA

The rainfall and daily temperature data collected come from the Operating and Development Company airport, aeronautical and meteorological. Flow rates were obtained from the Directorate General of Human and Hydraulic Infrastructures (DGHHI). These data had no gaps and were of good quality for use. The data for the regional climate models (RCMs) used were obtained from the CORDEX-Africa programme and consisted of rainfall and temperature variables, with a daily time step and a resolution of 50 km. These data were biased, and we corrected the biases before processing.

For the implementation of the SWAT model the daily precipitation and temperature data collected were used. As for the data on relative humidity, solar radiation and wind, the model's climate stations were used over the period 2004-2015 for the reference period. The 2020 land use maps were added to these data, and the study area was extracted from the world soil map produced by the [7] at a

scale of 1: 5000000, which is recognised by the model. In the context of climate change for the 2050 and 2080 horizons, meteorological data has also been simulated for the periods 2043-2054 and 2073-2084 to predict flows in the short and longer term.

3.2 ARCSWAT METHODOLOGY

The most recent version of the SWAT model, ARCSWAT2012, was used for this study. The delimitation of the sub-catchment areas is based on the definition of the hydrographic network, itself based on the topography. It is therefore influenced by the resolution of the digital terrain model (DTM). The user can define a drained surface threshold above which a watercourse is created. A sub-basin is then defined between each confluence of the hydrographic network. For this study, 25 sub-basins were generated, with an outlet at the Agnéby-Agboville station (Fig.2).

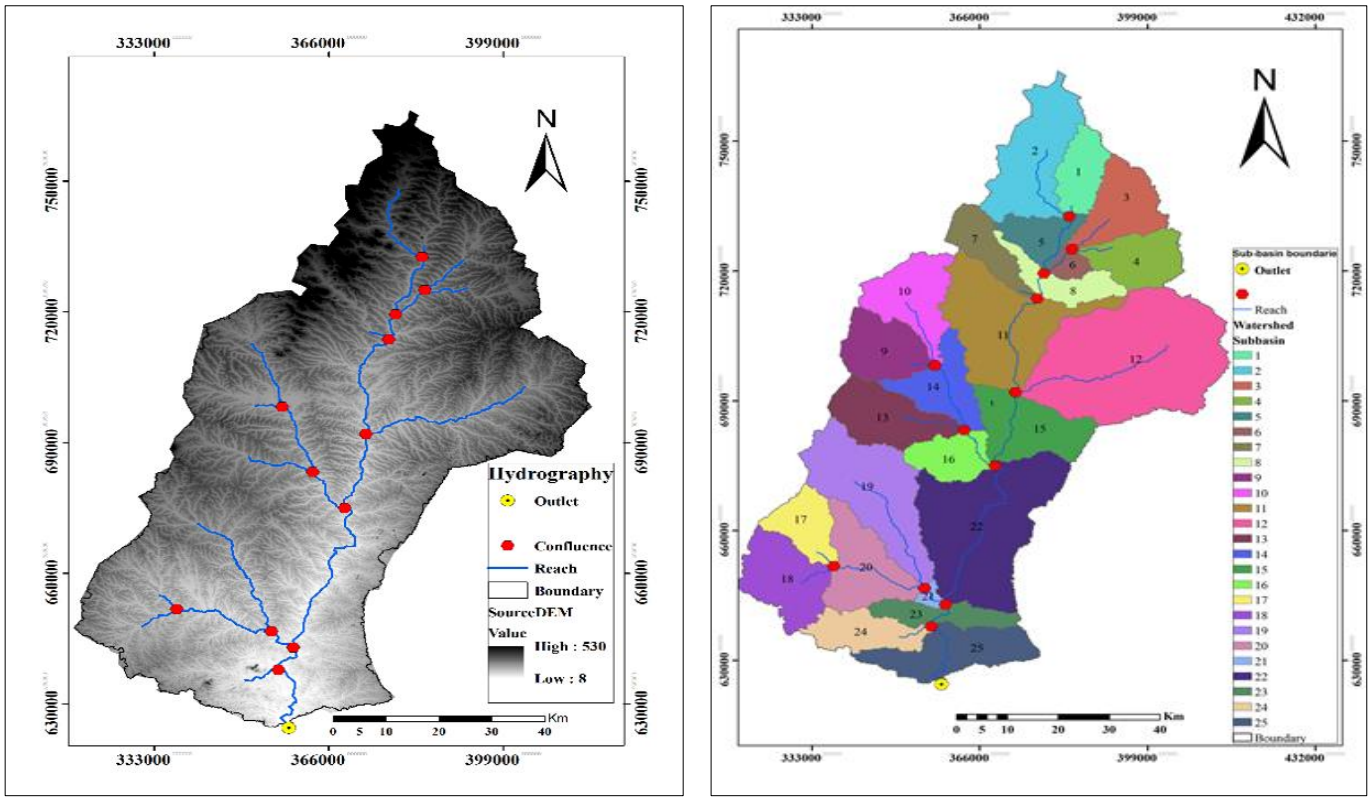


Fig. 2. Breakdown of the Agnéby catchment area into 25 sub-catchment areas

The definition of catchment areas in a project depends on a number of physical and technical factors. The division must enable areas with different physical and hydroclimatic characteristics to be described. It must also allow comparison with gauging stations, which must be located at the outlet of a sub-catchment.

3.2.1 DEFINITION OF HYDROLOGICAL RESPONSE UNITS (HRU)

As described in the model operation, the project's sub-basins are discretised into Hydrological Response Units after slope, soil and land use data have been compiled. The model therefore creates a HRU for each possible combination of these three integrated entities. For each of the three parameters mentioned above, the user can determine a threshold, in percentage terms, below which the value of a parameter will not be considered in the creation of HRUs. This has the effect of limiting the number of HRUs generated. The choice of this threshold makes it possible to exclude parameter values that are relatively anecdotal in terms of surface area. For the purposes of this project, the threshold has been set at 5% for land use type, 10% for soil type and 10% for slope class.

The SWAT model requires daily or monthly flow records at the catchment outlet for the entire simulation period.

In addition, in order to work in a climate change context, even if daily observed flows are taken into account, the period 2004-2015 has been considered as the reference period (scenario 1) and the two periods 2043-2054 and 2073-2084 are respectively the climate change scenarios 2 and 3.

3.2.2 INTEGRATION OF WEATHER STATIONS AND CREATION OF TABLES BY SWAT

The second stage involved the integration of meteorological data. This includes data on precipitation (PCP), maximum and minimum temperatures (TMPmax and TMPmin), relative humidity (HMD), solar radiation (SLR) and wind speed (WND). A hydrological survey station was selected to enable model performance to be estimated. As with the definition of the sub-basins, the selection of this station must meet a number of criteria. First and foremost, these must enable the diversity of the area under consideration to be represented and cover all the hydrological continuums simulated by the model. The Agnéby-Agbo hydrometric station was chosen to facilitate model calibration.

3.2.3 SIMULATION OF METEOROLOGICAL DATA

After checking that all the model data had been correctly integrated, the various simulations were carried out. In this stage, we determine the output time step with a minimum start-up period of two years. For this reason, we opted for a monthly time step with model outputs for the periods 2004-2015 for the reference period, and 2043-2054 and 2073-2084 for the climate change assessment.

3.3 CALIBRATION OF THE SWAT_CUP 2012 MODEL

The calibration and validation are carried out over two different periods. The research is conducted according to one principle:

- The split-sample test principle [11].

This test consists of splitting the available period into two (2) independent sub-periods of a non-stationary nature (climatic characteristics differing from one period to the next), calibrating the model on the first period (2006-2009) and validating it on the second (2010-201). For climate change, the calibration periods are 2043-2049 and 2073-2079, and the validation periods are 2050-2054 and 2080-2084.

3.3.1 NASH-SUTCLIFFE CRITERION (NSE)

The Nash-Sutcliffe criterion [18] is widely used in hydrology. It is a standardised criterion which aims to express the proportion of the variance in observed flows explained by the hydrological model by comparing it with a reference estimator, which is the mean of the observed flows. It is defined by equation 1:

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - S_I)^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

Where Oi and SI are the values of the observed and simulated flows at the time step under consideration. Based on the statistical criteria obtained up to 2007, [17] were able to establish a monthly performance evaluation grid, summarised in the following Table 1.

Table 1. Recommended model performance evaluation criteria for a monthly time step [17]

Performance evaluation	NSE	PBIAS		
		Flow	Sediment	N, P
Very good	0,75<NS≤ 1	PBIAS < ± 10	PBIAS<±15	PBIAS < ± 25
Good	0,65< NS≤ 0,75	±10≤PBIAS<±15	± 15 ≤ PBIAS < ± 30	± 25 ≤ PBIAS < ± 40
Satisfactory	0,50 <NS≤ 0,65	±15≤PBIAS<±25	± 30 ≤ PBIAS < ± 55	± 40 ≤ PBIAS < ± 70
Unsatisfactory	NS ≤ 0,50	PBIAS≥ ±25	PBIAS ≥ ± 55	PBIAS ≥ ± 70

3.3.2 VALIDATION

The validation phase is the most decisive stage in the simulation of water resource management at catchment level. Once the model's calibration performance has been judged satisfactory, the model is run with the optimal parameters from the calibration, for another period called the validation period [2].

This step has been carried out, and the initial parameter values have been replaced by the optimal parameters obtained during the calibration phase on SWAT-CUP2012.

3.3.3 MODEL SENSITIVITY ANALYSIS

The aim of this approach is to identify which parameters, for a given model configuration, will influence the simulation produced. The greater the variation in output, the greater the influence of the parameter [21]. Sensitivity thus makes it possible to lighten the calibration process by setting parameters that have no influence on the model outputs. Once the calibration parameters influencing the flow had been defined, an overall sensitivity analysis was carried out in order to reduce the number of parameters to be calibrated, by excluding those that have no influence on the phenomenon under study. This made it possible to classify the sensitive parameters for the model in order according to their degree of influence. Eleven of the 22 parameters were found to be influential (Table 2).

Table 2. Classification of the parameters most sensitive to the model (hydrological)

Rank	Parameter	Description
1	R_HRU.SLP.hru	Main slope of the HRU (linked to the flow of water in the canal)
2	R_SURLAG.bsn	Runoff delay coefficient (linked to runoff)
3	R_SUBBSN.hru	Average length of slope (linked to water flow in the canal)
4	V_ALPHA_BF.gw	Groundwater depletion coefficient (linked to the underground canal)
5	V_GWQMN.gw	Groundwater contribution threshold to channel flow, base flow (linked to underground channel)
6	R_OV_N.hru	Overall Manning coefficient for the hydrographic network (linked to surface runoff)
7	R_EPCO.hru	Soil evaporation factor as a function of depth (linked to actual and potential evapotranspiration)
8	R_ESCO.hru	Soil evaporation factor as a function of depth (linked to actual and potential evapotranspiration)
9	V_GW_DELAY.gw	Aquifer recharge time (groundwater-related)
10	R_CN2.mgt	Curve Number (related to surface runoff)
11	R_SOL_AWC(.).soil	Available water capacity in the soil layer (linked to water in the soil)

The parameters that have the greatest influence on hydrological modelling are:

- soil: soil water content;
- Surface runoff: Curve Number, response time to surface runoff and Manning's roughness coefficient, main slope of the HRU, runoff delay coefficient and mean slope length;
- Evaporation: The soil evaporation factor as a function of depth and the vegetation evaporation factor as a function of depth;
- Groundwater flow: The groundwater depletion coefficient, aquifer recharge time and channel flow, base flow.

3.3.4 WATER BALANCE MODULE

His hydrological balance consists of comparing the total flow in the catchment area and the quantity of flow leaving the outlet. The terms of the hydrological balance that we are going to highlight are: rainfall, runoff, groundwater recharge and actual evapotranspiration. It is expressed by the formula in equation 2:

$$P = R+I+RET+\Delta S \quad (2)$$

Where:

P: Precipitation (mm)
R: surface runoff (mm)
RET: evapotranspiration
I: deep infiltration or groundwater recharge (mm).

For this study we will use the global water balance produced by the SWAT model. According to [6], the estimation of the balance terms is more refined on the SWAT model, as it takes into account all the hydrological and hydrogeological spatial variations at the catchment scale.

4 RESULTS

4.1 DEFINITION OF HYDROLOGICAL RESPONSE UNITS (HRU) FOR THE REFERENCE SCENARIO

The SWAT model can be used to represent hydrological systems, particularly for dams and agricultural irrigation. Hydrological response units are determined by dividing the catchment into sub-catchments, the type of land use, soil type and slope classes. For this study, the Agnéby catchment was divided into 25 sub-catchments (Fig.3). The thresholds for the three entities were set at 5%, 10% and 10% respectively for land use, soil type and slope.

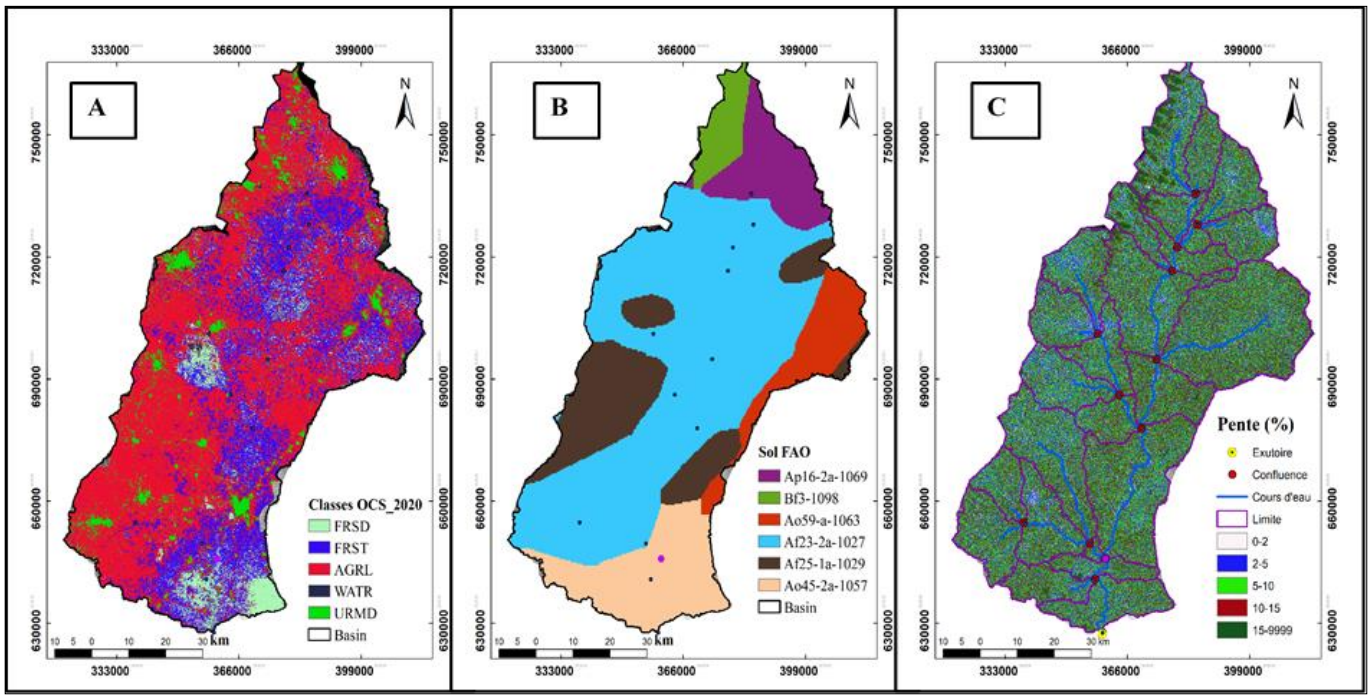


Fig. 3. Creation of Hydrological Response Units in the Agnéby catchment area

Table 3 highlights the characteristics of the catchment. The first entity taken into account is the 2020 land cover. The analysis highlights the reclassification for Hydrological Response Units such as dense forest, degraded forest, Crops/ fallow land, water (WATR) and medium density habitats occupying proportions of 6.75%, 26.46%, 62.04%, 0.04% and 4.71% respectively.

Table 3. Correspondence between Lands uses and SWAT classification

Land use	SWAT Correspondence	Surface Area (%)
Dense Forest	FRSD (Forest – Deciduous)	6.75
Degraded Forest	FRST (Forest – Mixed)	26.46
Crops and fallow land	AGRL (Agriculture Land-Generic)	62.04
Water	WATR (Water)	0.04
Residential/Bare Floors	URMD (Residential- Medium Density)	4.71

Table 4 shows the second entity taken into account. The soil reclassification showed that six soil types cover the study area with proportions of 8.10% (Ap16-20-1069), 3.83% (Bf-1098), 53.78% (Af23-2a-1027), 14.49% (Af25-1a-1029), 6.59% (Ao59-a-1063) and 13.22% (Ao45-2a-1057). The dominant soil type is Af23-2a-1029.

Table 4. Soil types in the Agnéby catchment area on SWAT

Type of Soil	Area (%)
Ap16-2a-1069	8.10
Bf3-1098	3.83
Af23-2a-1027	53.78
Af25-1a-1029	14.49
Ao59-a-1063	6.59
Ao45-2a-1057	13.22

The third and final entity taken into account is the digital terrain model. Table 5 shows the distribution of the different slope classes. The slopes range from 2-5, 10-15, 5-10, 15-9999 and 0-2 with respective percentages of 29.51%, 22.04%, 46.85%, 1.50% and 0.10%. These three entities were combined to create 381 Hydrological Response Units. In view of these analyses, we can say that the Agnéby catchment area is in a flat plateau-type zone. The Agnéby area is dominated by agricultural activities and degraded forest. Surface runoff in this area is erosive, as slopes greater than 2% account for 98.4% of the total surface area of the catchment.

Table 5. SWAT slope classes for the Agnéby catchment area

Slope class	Area drained (%)
2-5	29.51
10-15	22.04
5-10	46.85
15-9999	1.50
0-2	0.10

4.2 HYDROLOGICAL MODELLING

4.2.1 CALCULATION AND VALIDATION OF SCENARIO 1 (REFERENCE PERIOD)

Fig.4 shows the simulated flows for the calibration and validation periods. For the calibration period, seasonal variations are well represented and peak floods are estimated for the period 2006-2007. For the 2008-2010 sub-period, peak floods and base flows are underestimated. Optimisations of the model have enabled good performance to be achieved over the basin at monthly time steps. The model's performance indicators show its ability to better reproduce observed flows, with a Nash-Sutcliffe criterion of 67% and a coefficient of determination of 72%, with a PBIAIS rate of -1.3%.

Validation is an essential follow-up and complement to the calibration stage. It consists of testing whether the model is capable of simulating the behaviour of the system using a series of input data other than that with which it was identified. Identifying the value of the hydrological model parameters will therefore depend on the objective function used, which quantifies the difference between the observed and simulated variable. The validation analysis reveals that the model best simulates flood peaks and underestimates flood ebbs with statistical indicators of a Nash-Sutcliffe criterion of 65%, 70% for the coefficient of determination and a PBIAIS of -3.6%. The variations of the four (04) seasons are well represented as well as the flood flows. Between September 2011 and December 2012, phase shifts between physical and simulated flows could be explained by delayed runoff.

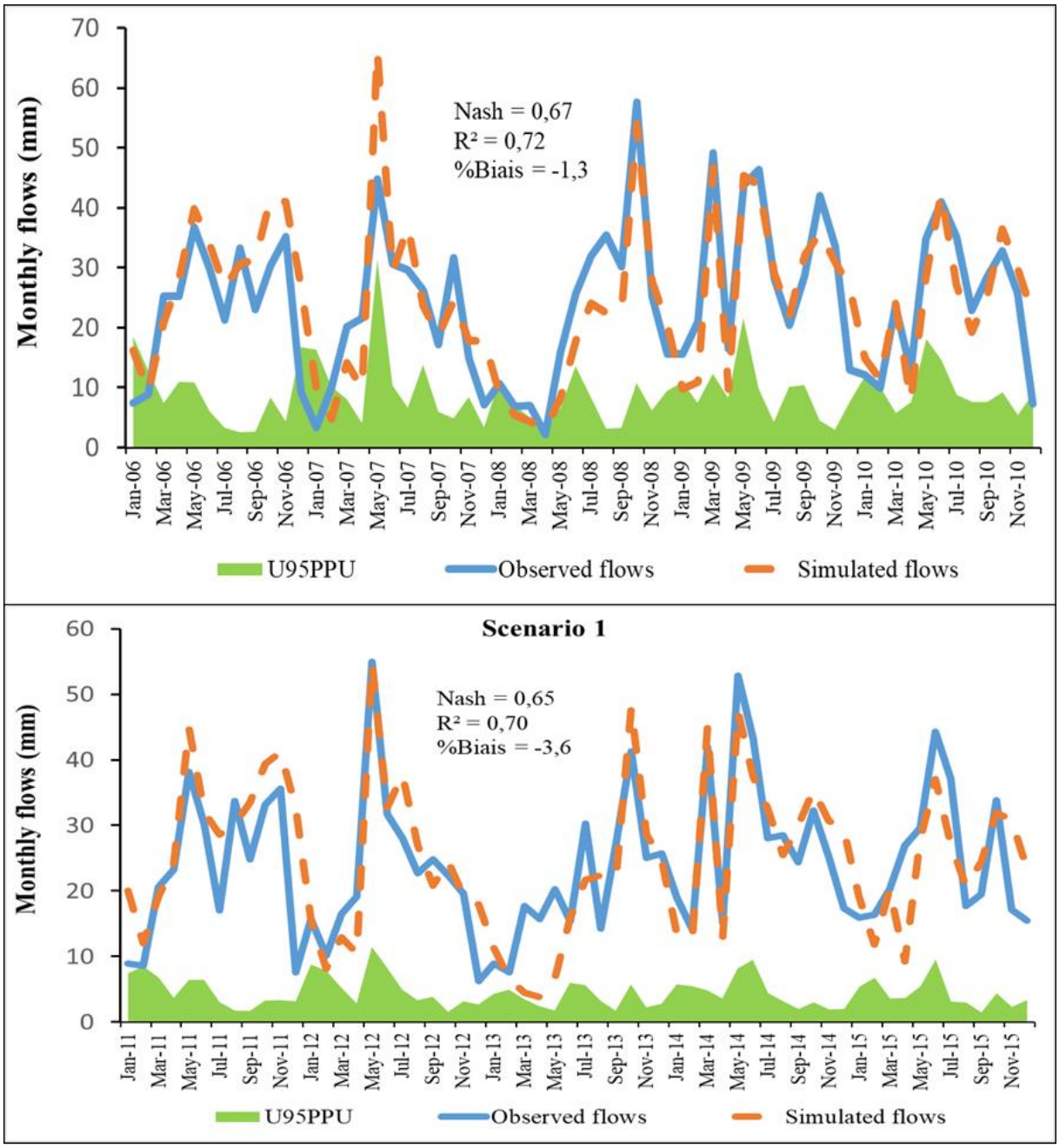


Fig. 4. Hydrographs of observed and simulated flows for calibration and validation

4.3 DEFINITION OF PREDICTED HYDROLOGICAL RESPONSE UNITS (HRUS)

Fig.5 shows the Hydrological Response Units for the 2050 and 2080 horizons. The analysis in Table 6 highlights the Hydrological Response Units generated by the SWAT model. The land use types showed changes in surface areas for the near horizon (2050) and the far horizon. The Hydrological Response Units are evaluated at 384 after their discretization into different meshes to give more precision to the dynamics that the area will experience through land practices. The results revealed that crops/fallow and habitats/bare soil will dominate and dense forest and degraded forest will decrease in area. As a hydrological consequence, the area will be more favourable to runoff and actual evapotranspiration and less favourable to infiltration and also to the storage of surface water.

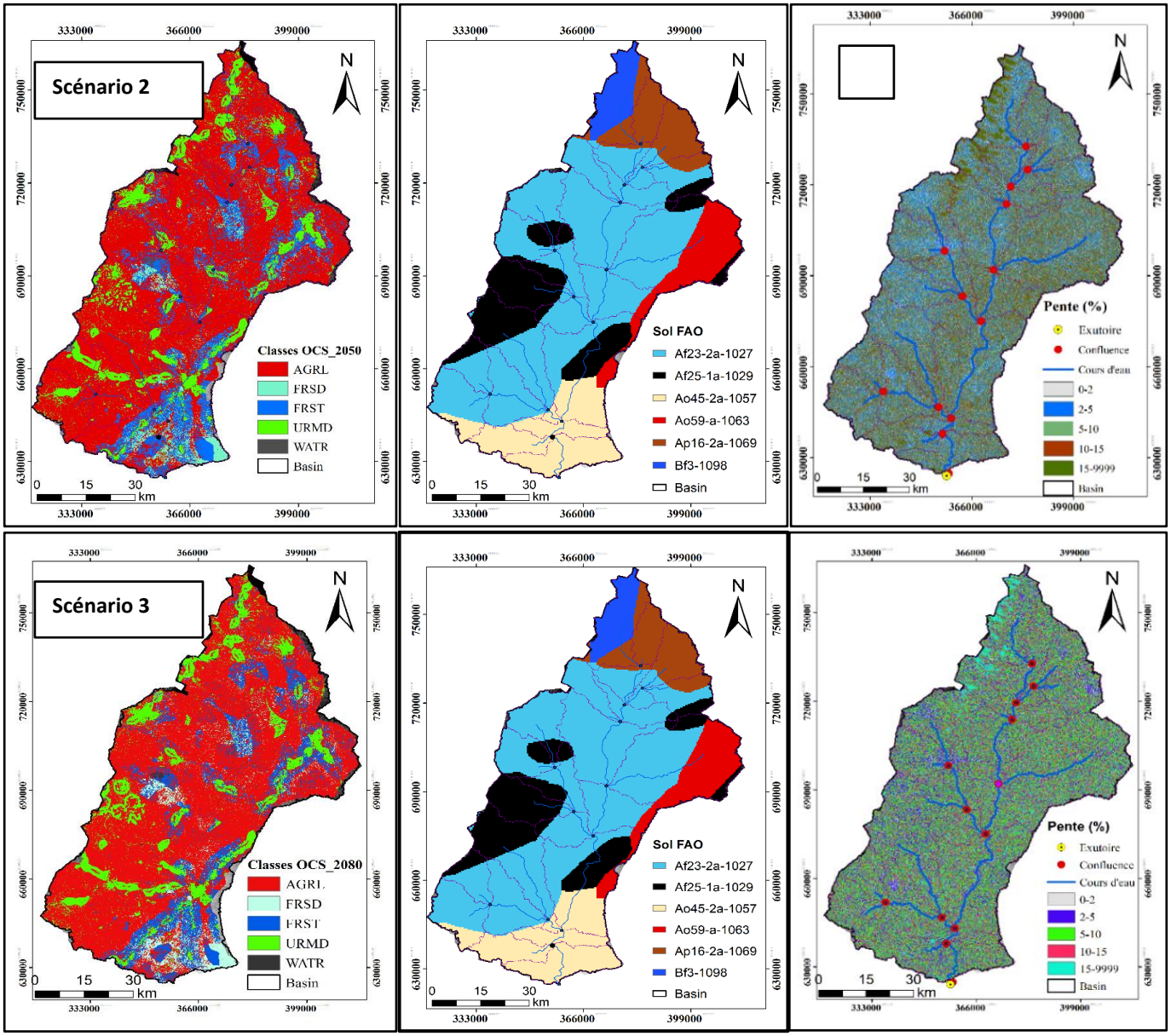


Fig. 5. Hydrological Response Units for horizons 2050 and 2080 on the Agnéby

Table 6. Correspondence between lands uses and SWAT classification

Land use	Correspondence from SWAT	Area (%)	
		2050	2080
Dense Forest	FRSD (Forest – Deciduous)	4.57	3.48
Degraded Forest	FRST (Forest – Mixed)	12.85	7.9
Crops and Fallow Land	AGRL (Agriculture Land-Generic)	69.5	75.25
Water	WATR (Water)	1.3	0.92
Residential/Bare Ground	URMD (Residential- Medium Density)	11.77	12.45

4.3.1 HYDROLOGICAL MODELLING 2050 AND 2080

4.3.2 CALIBRATIONS

Fig.6 shows the calibration periods for the two climate change scenarios. Analysis of the graphs shows that for future calibrations, the model is better able to represent the flows of the reference period. The seasonal variations of the reference period are well

reproduced. Flood peaks are well represented, with overestimates during the two rainy seasons, which could be explained by humidification or rapid urbanisation due to population growth. During the long and short dry seasons, the simulated flows also show overestimates for scenario 2. For the 2080 horizon (scenario 3), the model overestimates flood peaks over the 2075-2078 sub-period and underestimates the month of September, which marks the start of the short rainy season. This could be due to the lack of soil saturation and the scarcity of precipitation compared with the reference period. For model performance, the statistical indicators showed Nash-Sutcliffe criteria of 57% for the 2050 horizon and 56% for 2080. The coefficients of determination and the percentages of bias were 63% and 70% respectively, and -3.4% and -15.5% for the two scenarios.

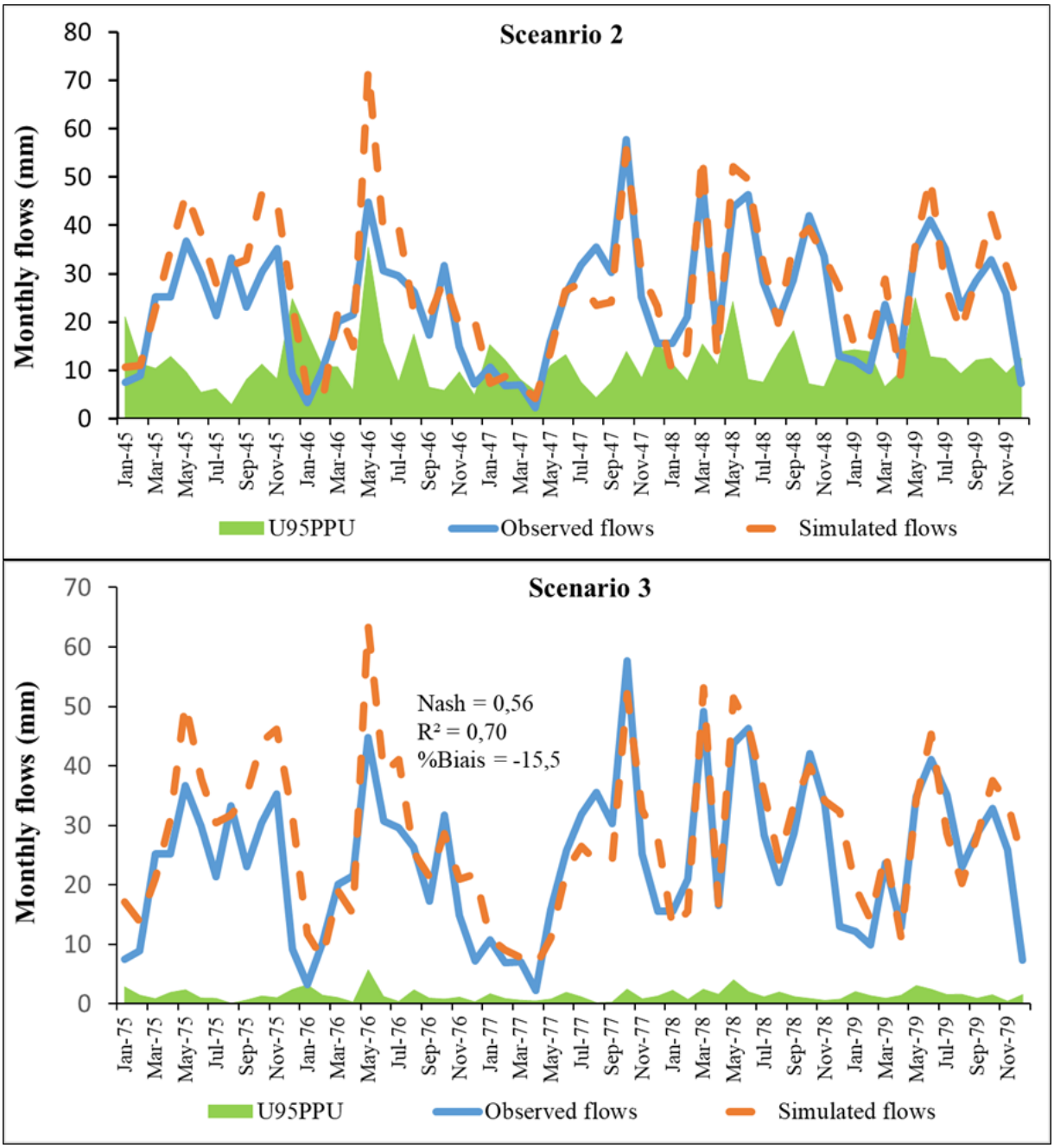


Fig. 6. Hydrographs for the calibration of scenarios 2 (2045-2049) and 3 (2075-2079)

4.3.3 VALIDATION

The graphs for the two validation scenarios show that flood flows are more or less better represented, whereas base flows are underestimated by the model (Fig. 7). These two periods chosen for future validation are representative of the climatic characteristics required, i.e. the presence of dry years, wet years and average years in the future data series.

The statistical indicators show Nash-Sutcliffe criteria of 60% for 2050 and 57% in 080. The coefficients of determination and the percentages of bias are 71%, 63% and -1.8%, -4.3% respectively. The flood peaks are well represented in scenario 2, while in scenario 3 the flood peaks are represented in April, November, May and September. In both scenarios, the month of June underestimates the observed flows for the reference period. The discrepancies between the simulated and observed flows are more noticeable during the short dry season. The fundamental observation is that, despite the low statistical values of the indicators, the model presents the observed flows better for the two scenarios.

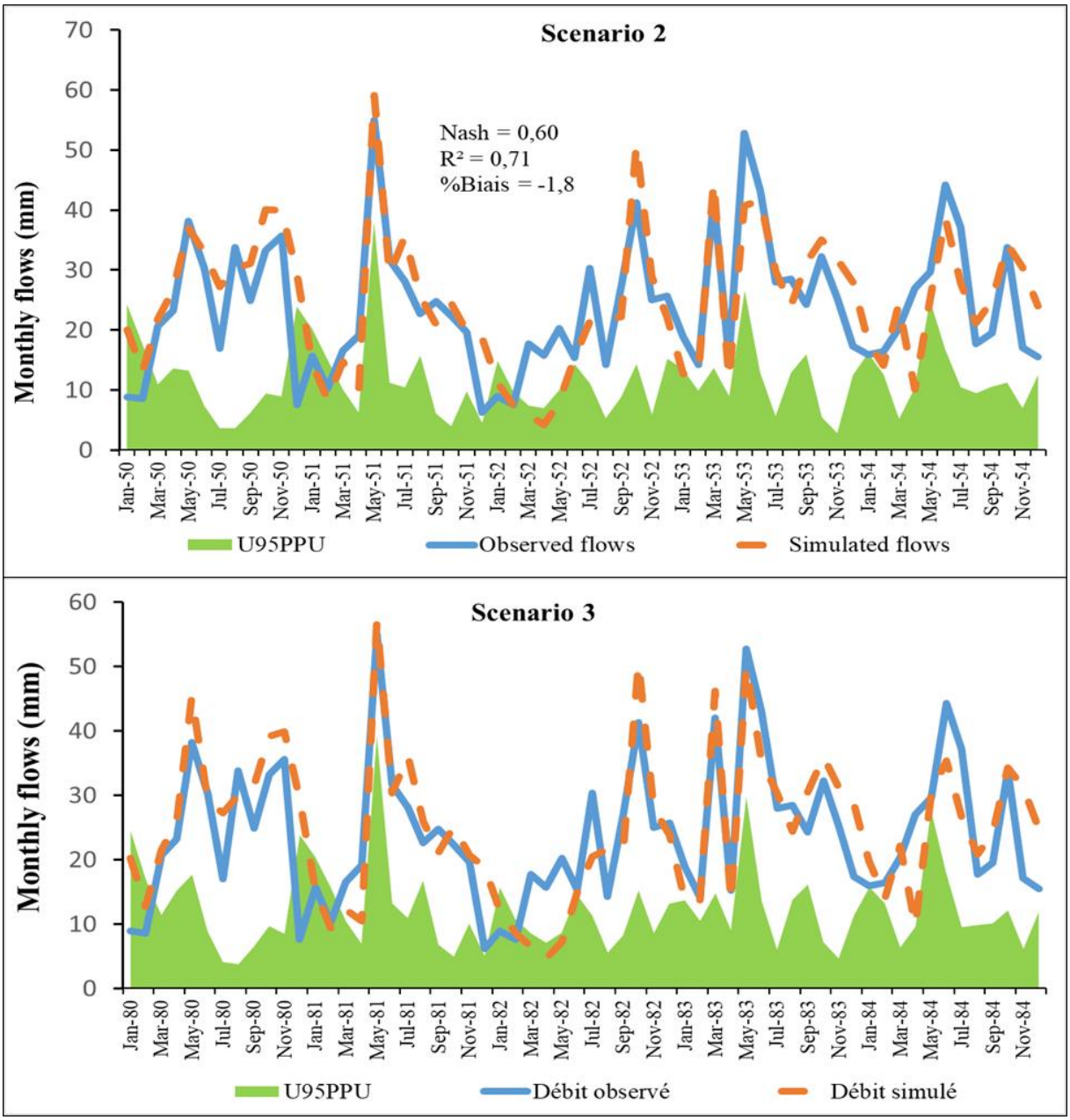


Fig. 7. Hydrographs for validating scenarios 2 (2050-2054) and 3 (2080-2084)

4.3.4 MODEL SENSITIVITY ANALYSIS

Fig. 8 highlights the most sensitive parameters for simulating future flows for the two scenarios.

Of the eleven parameters selected, the overall sensitivities of the model can be seen in the parameters related to actual and potential evapotranspiration, water content, the time taken to recharge the aquifer, surface runoff and channel flow. The behaviour of future hydrological functioning is therefore visibly influenced by the physical characteristics that drain surface runoff via SCS curves and Manning's coefficients.

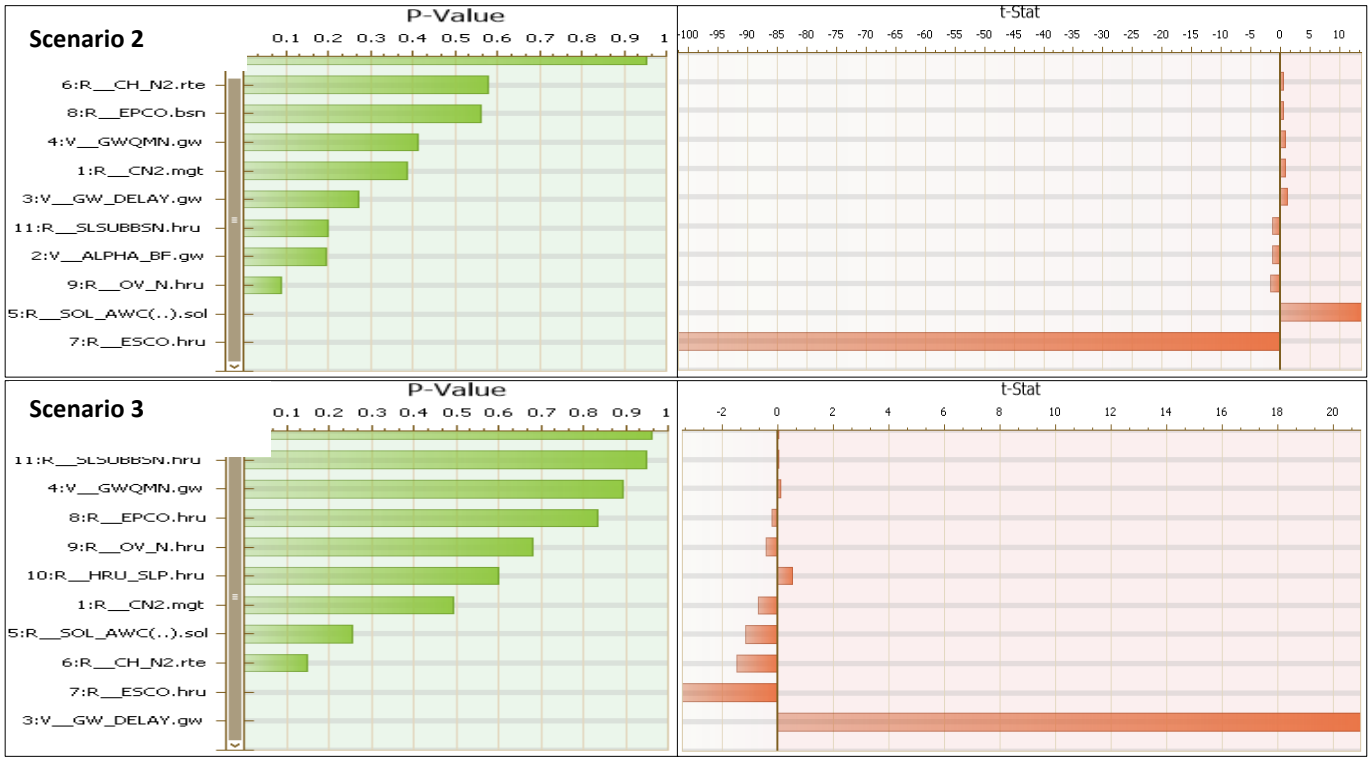


Fig. 8. Sensitivity analysis of parameters relating to future flows in the Agnéby

4.4 EVALUATION OF THE TERMS OF THE REFERENCE WATER BALANCE

The inputs are made up of rainfall on the reservoir and river contributions. There are three types of water outflows: actual evapotranspiration (AET), groundwater recharge (infiltration) and surface runoff (runoff). The overall terms of the annual water balance for the reference period are shown in Table 7. The analysis shows that for an average annual rainfall of 2007 mm, 45.18% is used for actual evapotranspiration, 32.86% for groundwater recharge and 21.96% for surface runoff. The positive water variation can be explained by the fact that the balance is in surplus, and the fact that the area is much wetter, with average annual rainfall in excess of 2000 mm.

Table 7. Annual water balance for the period 2006-2015

Annual water balance (mm) for catchment scenario 1					
Years	**Precipitation (mm)**	**RET (mm)**	**Groundwater (mm)**	**Runoff (mm)**	**(Δt) (mm)**
2006-2015	2007.73	907	6598	439.51	1.42

4.4.1 ASSESSMENT OF WATER BALANCE TERMS FOR CLIMATE CHANGE

Under the two climate change scenarios, the terms of the water balance are presented in Table 8. For the year 2050, the terms of the balance show that for an annual rainfall of 1970.27 mm 47.32% will be used for actual evapotranspiration, 32.65% for groundwater recharge and 20.03% for runoff. The variation in the stock will be negative, which implies that the year 2050 will be in deficit. In 2080, actual evapotranspiration will be 47.28%, groundwater recharge 32.77% and runoff 19.95%. The change in stock will be positive, which can be explained by the fact that the balance will be in surplus in 2080.

Table 8. Annual water balance for the years 2050 and 2080

Annual water balance (mm) for catchment scenario 2 and 3 (2050 and 2080)					
Years	Precipitation (mm)	RET (mm)	Groundwater (mm)	Runoff (mm)	(Δt) (mm)
2050	1970.27	932.37	643.29	396.55	-1.94
2080	1983.12	937.52	649.92	394.55	1.13

4.4.2 Combined Impact Of Climate Change And Land Use On Water Resources

Fig. 9 shows the comparative assessments of past and future water balance terms for the Agnéby catchment.

For the study of the impact of climate change on water resources, the terms of the hydrological balances for the years 2050 and 2080 will be compared with the terms of the hydrological balance for the period 2006-2015. Analysis of the terms shows that the years 2050 and 2080 will record rainfall deficits of 1.9% and 1.23% compared with the reference period. Real evapotranspiration will be 2.8% higher in 2050 and 3.36% higher in 2080. As for groundwater recharge, the deficits compared with the reference period will be 2.5% in 2050 and 1.5% in 2080. Surface run-off will record deficits of 9.77% and 10.23%. Changes in surface water stocks will be 36.62% lower in 2050 and 20.42% lower in 2080. % compared with the baseline. The variations in surface water stocks and the terms of future hydrological balances clearly show that surface water resources in the Agnéby catchment area will be under threat from human activities and climate change.

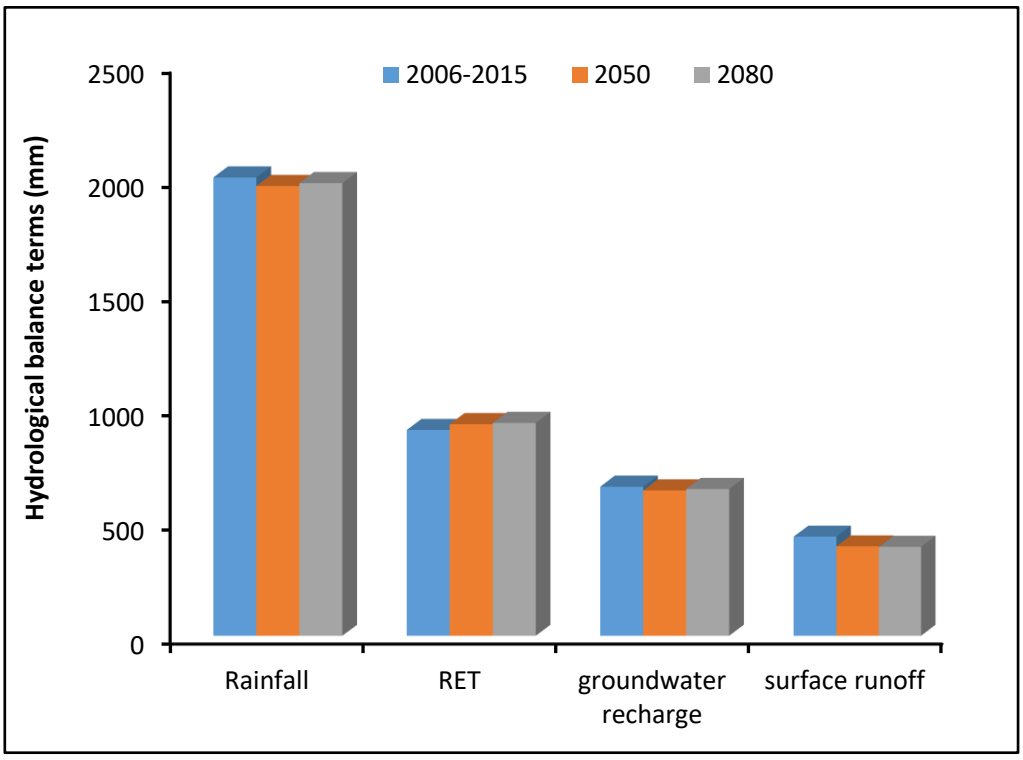


Fig. 9. Evaluation of past and future water balance terms in the Agnéby catchment area

5 Discussion

For the modelling of land use types after the integration of the three entities, the hydrological response units for the years 2050 and 2080 showed that crop/fallow and degraded forest will be dominant with proportions of 69.5% and 12.85% respectively, and water will occupy 1.3% in 2050. For the year 2080, the proportions will be 7.9%, 75.25%, 12.45% and 0.92% respectively for dense forest, crops/fallow, habitats/bare ground and water. Crops/fallow land will dominate more than half of the total surface area of the basin. This could be explained by the fact that the Agnéby area will be moving from subsistence farming to modern agriculture to conquer the world market. This work also confirms the increase in agricultural activities in south-eastern Côte d'Ivoire over the 2050 and 2080 time horizons. Our results are in line with the work carried out by [5]; [12]. In their studies, these authors predicted that the Aghien and Agnéby

watersheds in south-eastern Côte d'Ivoire will experience strong anthropisation due to agricultural activities, which may impact surface waters in the near and distant future. The results showed that the SWAT_CUP model is sensitive to eight parameters mainly related to runoff and soil water reserves. This implies that it is these parameters that are at the origin of the surface runoff in the case where sources and withdrawals are not taken into account. In order to better represent the flow at the outlet, the soil parameters have been refined. These parameters were used to optimise the flows produced by the model for the three scenarios in order to better reproduce the observed flows. These parameter sensitivity results are in line with the parameters used in the work by [6] using the SWAT model to model surface runoff in a poorly gauged basin in the Soudano-Sahelian zone of Burkina Faso. According to the work carried out by [9] in the Monteréal area. These present results of our work show that the hydrological behaviour of the Agnéby catchment is greatly influenced by the physical characteristics of the parameters of this area since it is the soils and their surface uses that mainly dictate surface runoff. These authors show the hydrological conditions of the model, where the Nash-Sutcliffe coefficient is considered to be good above 0.5 and very good above 0.75. The percentage bias must be between -25% and +25% to be considered satisfactory and is good within ±15%. Our results are lower than those obtained by [4] for the Nakhla catchment, who found 0.92 for calibration and 0.91 for validation using the SWAT model. The terms of the hydrological balances for the years 2050 and 2080 compared with the reference period show that the rainfall deficits will be 1.9% and 1.23% respectively. Real evapotranspiration will be 2.8% and 3.36% higher, while groundwater recharge will be 2.5% and 1.5% lower than in the reference period. Rainfall-dependent run-off will record deficits of 9.77% in 2050 and 10.23% in 2080. Variations in surface water stocks will fall by 36.62% in 2050 and 20.42% in 2080. Our results are superior to those of [23], which show a scarcity of rainfall and a drop in water availability of 55%/hbts in 2080 in Côte d'Ivoire. These results confirm the performance of the SWAT model in studies of the impacts of climate change on the sustainability of future surface water in the Agnéby catchment.

6 CONCLUSION

The SWAT model was implemented for the three scenarios in order to assess the combined impacts of climate change and land use on water resources. The results indicate that the area will be highly antrhopised over the two future horizons, with an increased dominance of crops/ fallow land and habitats, which will occupy more than half of the total surface area. In terms of hydrological modelling, the model has demonstrated its ability to better reproduce past physical flows over the two horizons, with statistical indicators of Nash-Sutcliffe criteria greater than 0.5 in calibrations and validations. The global water balance terms showed rainfall deficits of 1.9% and 1.23 for the 2050 and 2080 horizons compared with the reference period. Actual evapotranspiration will be higher than the reference evapotranspiration, with excesses of 2.8% and 3.36%. As for groundwater recharge and surface runoff, the deficits will be 2.5%, 1.5% and 9.77%, 10.23% respectively over the two horizons. Stock variations will also experience deficits of 36.62% and 20.42%. The variations in surface water stocks and the terms of future hydrological balances clearly show that the catchment's water resources will be under threat from human activities and climate change. The drop in surface water stock observed between the reference period and future horizons is reflected in an increase in actual evapotranspiration and a drop in runoff. The hydrological consequence of this state of affairs is the depletion of water resources over time due to human activities. The predominance of evapotranspiration is explained by the fact that the area will be covered by large farms and that the area will be less favourable to surface runoff than to infiltration. Overall recharge is the second highest.

ACKNOWLEDGMENTS

At the end of this work, we would like to thank the Operating and Development Company airport, aeronautical and meteorological. Flow rates were obtained from the Directorate General of Human and Hydraulic Infrastructures (DGHHI) of the Ivory Coast, as well as the CORDEX-Africa programme for making available to us the daily meteorological data required for the feasibility of this work. We would also like to thank the Director of the Geosciences and Environment Laboratory at NANGUI ABROGOUA University for accepting us for our research work

REFERENCES

[1] Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., and Rasmussen, J., (1986). An introduction to the European Hydrological System — Systeme Hydrologique Europeen, «SHE», 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. Journal of Hydrology 87, 61–77.

[2] Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R.D., van Griensven, A., Van Liew, M.W., Kannan, N., Jha, M.K. (2012b). Swat: Model Use, Calibration, and Validation. Transactions of the Asabe, 55 (4): 1491-1508.

[3] Beven, K.J.et Klirkby, M.J., (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin 24, 43–69.

[4] Boukhari, T. R., Naimi, M., Chikhaoui, M., Sabir, M., (2021). Use of SWAT for hydrological modelling and sediment yield assessment in the Nakhla catchment, Morocco.

[5] Diallo, S., (2022). Anthropogenic uses and land use dynamics in relation to potential contaminant types in the Aghien Lagoon basin of Côte d'Ivoire. PhD thesis, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire. Geosciences and Environment Laboratory.
[6] Emma, C. G. K., (2019). Application of the SWAT model for flow modelling in a low-gauge catchment in the Sudano-Sahelian zone (BURKINA FASO). Institut International d'Ingénierie Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO.
[7] FAO–UNESCO. (1971–1981). Soil map of the world 1: 5 000 000. 10 Volumes. Paris, UNESCO.
[8] IPCC, (2022). IPCC Sixth Assessment Report (AR6), 2021-22. Impacts, adaptation options and investment areas for a West Africa resilient to climate change.
[9] Jean-Louis L. (2017). Modelling the transport and fate of. Coli at the scale of a watershed. Department of civil, geological and mining engineering polytechnic school de montréal. Thesis submitted for the degree of master of applied sciences (civil engineering) pp.107.
[10] Kamagaté, B. Seguis L., Kouadio, Z.A., Peugeot, C., Savane, I., and Goula, B T.A., (2014). Bilan hydrologique du bassin versant de l'Agneby (Côte d'Ivoire): application du modèle hydrologique nTopAmma Laboratoire de GéoSciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 01, Côte d'ivoire, kambamory2@yahoo.fr2. HydroSciences Montpellier, University of Montpellier 2, 34095 Montpellier cedex 5, France.
[11] Klemes V. (1986). «Operational testing of hydrological simulation models.» Hydrological sciences. pp 13-24.
[12] Koné, B. Ouattara, I., Coulibaly L., DAO, A., Fadika, V., Noufe, D. D., Kamagaté, B., (2022). Impact of Land use Dynamics on Runoff in the Agnéby Watershed, South-Eastern Ivory Coast. Volume 7, Issue 6, June – 2022. International Journal of Innovative Science and Research Technology. ISSN No: -2456-2165.
[13] Kouadio, Z. A., (2011). Land use dynamics and hydrological behaviour: the case of the Agnéby and Boubo coastal catchments (Ivory Costa). PhD thesis, University of Abobo-Adjamé, 188p.
[14] Kouakou K.E., Goula B.T.A., Kouassi A.M. (2012). Analyze of climate variability and change impacts on hydro-climate parameters: case study of Ivory Costa. International Journal of Scientific & Engineering Research, 3 (2): 8 p.
[15] Ledoux, E., Girard, G., De Marsily, G., Villeneuve, J.P., and Deschenes, J., (1989). Spatially distributed modeling: conceptual approach, coupling surface water and groundwater. In Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling, H.J. Morel-Seytoux, ed. (Springer Netherlands), pp. 435–454.
[16] McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model (U.S. G.P.O).
[17] Moriasi, Arnold, Van Liew, Bingner, Harmel and Veith. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the Asabe 50 (3): pp. 885-900.
[18] Nash, J. E., et Sutcliffe, J. V., (1970). River flow forecasting through conceptual models, J. Hydrol., 10 (3), 282–290.
[19] Pereira, D. dos R., Martinez, M.A., Pruski, F.F., and da Silva, D.D., (2016). Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. Journal of Hydrology: Regional Studies 7, 14–37.
[20] Savané, I., Coulibaly, K.M., and Gioan P., (2001). Climatic variability and groundwater resources in the semi-mountainous region of Man. Sécheresse, Vol. 4, No. 12, pp. 231-237.
[21] Satlelli, A., Chan, K., Scott, E.M., (2000). Sensitivity Analysis. Wiley Editions.
[22] USAID, M.A. (2014). Mapping the Exposure of Socioeconomic and Natural Systems of West Africa to Coastal Climate.
[23] World Food Programme, (2019). WFP Côte d'Ivoire Country Brief August 2019, Rome, Italy.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1273-1285
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Disponibilité et usages des résidus de cabossage en cacaoculture en Côte d'Ivoire: Une opportunité pour améliorer la fertilité des sols et la biosécurité des végétaux

[Availability and uses of cocoa pod residues in Côte d'Ivoire: An opportunity to improve soil fertility and plant biosecurity]

Kouamé Paulin KOFFI[1], Kouacou René AKANVOU[2], Mahyao Germain ADOLPHE[2], and Konan-Kan Hippolyte KOUADIO[1]

[1]Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomateriaux (LSSEG), UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët Boigny (UFHB), Abidjan, Côte d'Ivoire

[2]Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Côte d'Ivoire, cocoa beans production (2,248,000 tons in 2020/2021) generates huge quantities of pod residues that are abandoned in the cocoa plantations, promoting the spread of diseases, such as brown pod rot. The objective of this study was to assess the availability of shelling residues and to describe the different utilization in cocoa farming. A survey was conducted with 125 producers in four departments of high cocoa production. The results showed that the production of 480.19 kg/ha/year of beans generated 960.40 kg/ha/year of shells. The crushing residues used are the shells (44% of the producers), the rachis (13.6%) and the mucilage juice (100%). The shells are spread under cocoa trees and/or banana trees (22.4%), are composted (8.8%) or used for manufacturing potash (7.2%). The rachis are displayed under the cocoa trees or used in animal nutrition. The juice is sometimes mixed with herbicides to control weeds on farms. This study showed that there is a large quantity of shelling residues available, but the rate of use is still low. Improving valorization practices would contribute to sustainable agricultural production as well as reducing sanitation problems in cocoa farms.

KEYWORDS: Cocoa pod residues, husk uses, cocoa farming, Ivory Coast.

RESUME: En Côte d'Ivoire, la production de cacao (2 248 000 tonnes en 2020/2021) génère d'énormes quantités de résidus de cabossage qui sont abandonnées dans les cacaoyères favorisant la prolifération des maladies, telle que la pourriture brune des cabosses. L'objectif de cette étude a été d'évaluer la disponibilité des résidus de cabossage et de décrire les modes d'usage en cacaoculture. Une enquête a été conduite auprès de 125 producteurs dans quatre départements de forte production du cacao. Les résultats ont montré que la production 480,19 Kg/ha/an de fève génère 960,40 Kg/ha/an de coques. Les résidus de cabossage utilisés sont les coques (44% des producteurs), le rachis (13,6%) et le jus de mucilage (100%). Les coques sont étalées sous les cacaoyers et/ou les bananiers (22,4%), compostés (8,8%) ou utilisés pour la fabrication de la potasse (7,2%). Les rachis sont utilisés en étalage sous les cacaoyers ou pour la nutrition animale. Le jus est parfois mélangé aux herbicides pour éliminer les mauvaises herbes dans les exploitations. Cette étude a montré qu'il existe une quantité importante de résidus de cabossage disponible mais les taux d'usages sont encore faibles. L'amélioration des pratiques de valorisation contribuerait à une production agricole durable ainsi qu'à réduire les problèmes sanitaires dans les exploitations cacaoyères.

MOTS-CLEFS: Résidus cabossage, usages coques, cacaoculture, Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Kouamé Paulin KOFFI

1 INTRODUCTION

Le développement économique de la Côte d'Ivoire a été essentiellement basé sur l'agriculture [1]. Ce secteur emploie près de deux tiers de la population active et contribue à près de 25% du Produit Intérieur Brut (PIB) [2]. Avec un climat tropical favorable et une disponibilité importante de terres cultivables, une gamme variée de productions végétales est exploitée en Côte d'Ivoire [3], [1]. Parmi les cultures pratiquées, la cacaoculture fournit environ 40 % des recettes d'exportation et contribue à près de 10 % du PIB [4]. La Côte d'Ivoire est le premier pays producteur de fèves de cacao au monde avec une production de 2 248 000 tonnes en 2020/2021, soit près de 45 % de l'offre mondiale [5]. Avec cette importante production de fèves de cacao, d'énormes quantités de résidus de cabosse, soit environ 4,4 millions de tonnes de cabosses sèches sont produites par an [6]. Malheureusement, ces résidus agricoles sont abandonnés dans les exploitations cacaoyères car considérés par la majorité des producteurs comme des déchets qui n'ont aucune valeur économique. Le stockage des résidus dans les plantations de cacao pose un problème sanitaire car favorise la prolifération des maladies, notamment la pourriture brune des cabosses causée par le champignon Phytophtora palmivora [7], [8], [9]. Pour lutter contre ces pratiques et apporter de la valeur ajoutée à la culture du cacao, des propositions de transformation de ces résidus sont envisagées. Les activités de valorisation de ces résidus demeurent marginales. Plusieurs auteurs [10] et [11] ont utilisé du compost à base de ces résidus comme amendement organique pour améliorer la fertilité des sols dégradés et favoriser la croissance de certaine culture comme le maïs. Des pays producteurs de cacao comme le Ghana utilise la cendre des coques de cacao comme engrais potassique sous le cacaoyer et les cultures vivrières [12], [13]. Au Cameroun et au Togo, des essais d'alimentation de porcs, de bovins et petits ruminants à partir de la farine de coques de cacao, ont donné des résultats satisfaisants [14], [7]. En Côte d'Ivoire il a été observé que seulement une minorité d'exploitant valorise ces résidus de cacao en milieu traditionnel.

Cette étude conduite dans la grande zone de production de cacao a pour objectif d'évaluer la disponibilité des résidus de cabosse et d'inventorier les usages faites dans les exploitations de production de cacao

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

La zone d'étude comprend quatre (4) départements de production cacaoyère en Côte d'Ivoire, à savoir les départements de Soubré et Méagui dans la région de la Nawa, le département de Divo dans la région du Loh-Djiboua et le département de Gagnoa dans la région du Goh (Figure 1). Cette zone fait partie de la nouvelle boucle du cacao et couvre une superficie totale de 16 436 Km2 [15], [16]. Elle contribue à près de 24 % de la production nationale du cacao [6]. Dans les départements de Soubré et Méagui, le relief est constitué d'une vaste pédiplaine ondulée avec une altitude moyenne de 200 mètres, marquée par une forêt dense humide sempervirente. Les sols sont de types ferralitiques fortement à moyennement désaturés avec une texture argileuse et limoneuse. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1400 et 2200 mm et la température moyenne oscille entre 25 et 27ºC [17]. Dans les départements de Divo et Gagnoa, le relief est ondulé avec des altitudes allant de 100 à 500 mètres. La végétation est constituée de forêt dense semi-décidue, réduite à une mosaïque de reliques forestières compte tenu de l'importance des activités agricoles et de l'exploitation forestière. La pluviométrie se situe entre 1200 et 1400 millimètres par an avec une température moyenne de 27°C, favorable à la cacaoculture. Les sols sont de types ferralitiques fortement désaturés [18], [19].



Fig. 1. Zone d'étude en Côte d'Ivoire

2.2 ECHANTILLONNAGE, COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

L'échantillonnage a été réalisé en deux étapes:

La première a été le choix systématique des villages dans chacune des 4 départements dans un rayon de 10 km autour du chef-lieu de département en concertation avec l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER) sur la base de l'importance de la production cacaoyère et l'utilisation des résidus de cabossage par des producteurs dans ces villages. Au total, treize (13) villages ont été retenus dans la zone d'étude.

La deuxième étape a été le choix des producteurs de chaque village de façon aléatoire. Au total, 125 producteurs ont été sélectionnés et enquêtés. La répartition des producteurs selon les régions, départements et villages retenus dans la zone d'étude est présentée dans le tableau 1.

Un entretien individualisé des producteurs a été conduit de décembre 2019 à avril 2020. Les variables observées ont été les caractéristiques des exploitants (sexe, âge, origine et niveau instruction du producteur de cacao), les caractéristiques des exploitations (superficie du champ de cacao, âge des cacaoyers, rendement en fèves, précédent cultural, cultures associées au cacaoyer et autres cultures pratiquées par les producteurs de cacao). Les quantités de résidus de cabossage ont été estimées par la méthode de Pitcholo (1990) [7]. L'analyse statistiques descriptives des données a été réalisée à l'aide du logiciel IBM SPSS statistics 20.

Tableau 1. Répartition des producteurs enquêtés en Côte d'Ivoire

Régions	**Départements**	**Villages**	**Nb producteurs enquêtés**	**%**
Nawa	Soubré	Takoréagui	11	9
		Mabéhiri 2	10	8
		Sous total	21	17
	Méagui	Ambroisekro	10	8
		Tiébakro	10	8
		Krohon	9	7
		Sous total	29	23
		Total	50	40
Lôh-Djiboua	Divo	Dairo-Didizo	14	11
		Datta	14	11
		Guehou	12	10
		Kakahakro-Hermankono Diès	10	8
		Total	50	40
Gôh	Gagnoa	Gbanakro	9	7
		Daliguepa	7	6
		Abolikro	7	6
		Dahopa	2	2
		Total	25	20
Total	4	13	125	100

Source: Données enquêtes 2019/2020

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DES PRODUCTEURS DE CACAO

Le profil des producteurs dans les quatre (4) départements de la zone d'étude est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques des producteurs de cacao dans la zone d'étude des régions du Nawa, Lôh-Djiboua et Gôh

Rubriques	Régions	Nawa		Lôh-Djiboua	Gôh	Total
	Départements	Soubré	Méagui	Divo	Gagnoa	
Variables	**Modalités**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
Sexe	Homme	100	100	100	100	100
	Femme	0	0	0	0	0
	Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Age	< 25 ans	5	0	4	0	2,25
	25 à 60 ans	90	79	74	80	80,75
	> 60 ans	5	21	22	20	17
	Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Origine	Autochtone	0	0	8	12	5
	Allochtone	52	59	66	88	66,25
	Allogène	48	41	26	0	28,75
	Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Education	Non scolarisé	67	66	40	36	52,25
	Primaire	14	24	14	20	18
	Secondaire	14	10	42	44	27,5
	Supérieur	5	0	4	0	2,25
	Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Les producteurs de cacao sont tous des hommes, 80,75% d'entre eux ont un âge compris entre 25 et 59 ans, 66,25% sont des allochtones, 28,75% allogènes et 52,25% sont non scolarisés. On retrouve plus les producteurs allochtones et allogènes dans les départements de Soubré (52% et 48%) et Méagui (59% et 41%). Au niveau instruction, il existe une forte proportion de producteurs non scolarisés dans les départements de Soubré (67%) et Méagui (66%).

On observe que la majorité des producteurs de cacao allogènes ou allochtones et non scolarisés sont dans la Nawa, Dans les régions du Goh et Lôh-Djiboua, il y a une proportion importante de producteurs autochtones ayant un niveau d'étude secondaire.

3.2 CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOITATIONS

Le tableau 3 présente les caractéristiques des exploitations dans les départements enquêtés.

Tableau 3. Caractéristiques des exploitations cacaoyères des départements enquêtés

Départements	Soubré		Méagui		Divo		Gagnoa		Total	
Variables	**%**	**M**	**%**	**M**	**%**	**M**	**%**	**M**	**%**	**M**
Cacaoyère										
Sup. (ha)	100	4,51	100	5,44	100	4,26	100	4,32	100	4,63
Age (ans)	100	22,90	100	23,20	100	21,68	100	22,2	100	22,49
Rdt. (Kg/ha)	100	603,59	100	580,72	100	347,61	100	388,87	100	480,19
Précédent										
Foret	61,9		75,86		62		68		66,94	
Jachère	28,5		20,69		20		32		25,30	
Cacao	4,7		0		12		0		4,17	
Café	4,7		3,45		6		0		3,53	
Association										
Banane	85,7		53,85		28,57		84,62		63,18	-
Manioc	0				28,58		7,69		9,07	-
Café	14,3		7,69		42,86		0		16,21	-
Hévéa	0		38,46		0		0		9,61	-
Palmier	0		-		0		7,69		2,56	-
Autres Cultures.(ha)										
Café	0	0	3,4	0,5	16	1,28	0	0	4,85	0,44
Palmier	4,7	1	0	0	50	2,64	0	0	13,67	0,91
Hévéa	9,5	1,75	0	0	16	2,87	8	1,5	8,37	1,53
Manioc	14,2	0,66	17,2	0,54	26	0,44	40	0,45	24,35	0,52
Igname	33,3	0,60	24,1	0,39	22	0,36	52	0,42	32,85	0,44
Riz	0	0	0	0	4	0,25	28	0,61	8	0,21

Légende: M = Moyenne

En moyenne, les cacaoyères ont une superficie de 4,6 ha, un âge de 22,5 ans et un rendement en fèves de l'ordre de 480 Kg/ha/an. Les superficies et les rendements les plus élevés sont dans les départements de Soubré (4,51 ha et 603,59 Kg/ha) et Méagui (5,44 ha et 580,72 Kg/ha) et les plus bas à Gagnoa (4,32 ha et 389 Kg/ha) et Divo (4,26 ha et 347,6 Kg/ha). Les cacaoyères les plus âgées sont à Méagui (23,20 ans) et Soubré (22,90 ans). Sur l'ensemble des départements, 66,94% des cacaoyères ont été installées après une précédente forêt suivie dans 25,30% des cas d'une jachère de différents âges pouvant être de vieilles plantations de cacao (4,17%) ou café (3,53%). Les vieilles cacaoyères et caféières utilisées comme précédents culturaux sont plus importantes à Divo, Soubré et Méagui. Les cultures les plus utilisées en association sont la banane, le café, l'hévéa, le manioc et le palmier à huile. L'association cacaoyer-banane plantain est la plus fréquente dans les départements de Soubré (85,7%), Gagnoa (84,62 %) et Méagui (53,85%). Dans le département de Divo, 42,86% des producteurs pratiquent majoritairement des associations cacaoyers - café ou cacaoyers- manioc. En plus des plantations de cacao, les producteurs possèdent aussi des plantations de palmier à huile (13,67%), d'hévéa (8,37%) et des vivriers tels que l'igname (32,85%) et le manioc (24,35%). Ainsi dans le département de Gagnoa, les autres cultures les plus pratiquées par les producteurs de cacao sont l'igname (52%), le riz (28%) et le manioc (40%). A Divo c'est le palmier à huile qui prédomine avec 50%, et aussi l'igname à Soubré et Méagui

3.3 GESTION DES CACAOYÈRES

La gestion des cacaoyères est réalisée en mettant en œuvre les bonnes pratiques agricoles à savoir l'usage des intrants, le respect des périodes de récolte des fèves, la gestion des sites de cabossage et la présence de maladies et ravageurs dans les cacaoyères (Tableau 4).

Tableau 4. Mode d'entretien des cacaoyères

Rubriques	Départements	Soubré	Méagui	Divo	Gagnoa	Total
Variables	**Modalités**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
Produits entretien	Herbicides	71,43	17,24	44	40	43,16
	Pesticides	95,24	93,10	86	44	79,58
Usage engrais	Oui	81	83	72	48	71
	Non	19	17	28	52	29
Type engrais	Chimique	82,35	66,67	72,22	100	80,31
	Organique	11,76	20,83	8,33	0	10,23
	Mixte	5,88	12,50	19,44	0	9,45
Organique	Bouse vache	0	0	8	0	2
	Fumier mouton	0	3,45	16	0	4,86
	Fiente volaille	14,29	24,14	10	0	12,10
Fréquence récolte	≤ 5 fois/an	4,76	4,90	14	56	19,91
	6 à 10 fois/an	38,10	48,28	66	44	49,09
	> 10 fois/an	57,14	44,83	20	0	30,49
Sites de cabossage	Hors champ	14,29	6,90	2	8	7,79
	Sous cacaoyers	42,86	44,83	50	72	52,42
	Sous ombrage	42,86	48,28	48	20	39,78
Maladies	Pourriture brune	66,67	34,48	40	36	44,28
	Swollen shoot	47,62	24,14	16	0	21,94
Ravageurs	Mirides	95,24	96,55	88	80	89,94
	Foreurs de tige	80,95	72,41	86	48	71,84
	Mousse verte	85,71	13,79	52	20	42,87
	Termites	28,57	34,48	46	64	43,26
	loranthus	80,95	27,59	46,94	84	59,87

Le tableau 4 indique que 79,58% des producteurs utilisent les pesticides pour lutter contre les maladies et ravageurs et 43,16% utilisent les herbicides pour le désherbage des cacaoyères en production. La fiente de poulet est le fumier le plus recherché, il est utilisé par 12,10% des producteurs. La fréquence de récolte de cabosses mûres est variable. Environ la moitié (49,09%) des producteurs ont une fréquence qui se situe entre 6 et 10 fois par campagne. Au niveau du lieu de cabossage, 52,42% des producteurs le font sous les cacaoyers, 39,78% sous les arbres d'ombrage et 7,79% en dehors du champ. Les maladies les plus citées par les producteurs sont la pourriture brune (44,28%) et le swollen shoot (21,94%). Au niveau des ravageurs, 89,94% des producteurs ont mentionné la présence des mirides, 71,84% pour les foreurs de tige, 59,87% pour les loranthus, 43,26 pour les termites et 42,87 pour la mousse verte dans les cacaoyères.

Le tableau 5 présente les quantités de produits d'entretiens et fertilisants appliqués dans les départements de Soubré, Méagui, Divo et Gagnoa.

Tableau 5. Produits phytosanitaires et fertilisants utilisés dans les cacaoyères

Départements	**Soubré**		**Méagui**		**Divo**		**Gagnoa**		**Total**	
Variables	**Q**	**N**	**Q**	**N**	**Q**	**N**	**Q**	**N**	**Q**	**N**
Produits										
Herbicides (L/ha)										
Min	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Max	2,32	3	2	3	4	2	2,88	3	2,8	2,75
Moyenne	0,84	1,26	0,18	1,4	0,58	1,59	0,58	1,7	0,54	1,48
Ecart-Types	0,73	0,59	0,46	0,89	0,89	0,50	0,90	0,67	074	0,66
Pesticides										
Min	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Max	6	6	6	4	8	12	2,88	3	5,72	6,25
Moyenne	2,50	3,15	1,25	2,44	1,40	1,67	0,43	1,81	1 ,39	2,26
Ecart-Types	2,14	1,26	1,22	0,69	2,86	1,93	0,69	0,75	1,72	1,15
Fertilisants										
NPK (Kg/ha)										
Min	9,09	1	83,33	1	12,5	1	30	1	33,73	1
Max	444,44	3	600	3	300	5	250	3	398,61	3,5
Moyenne	214,90	1,6	201,98	2,55	98,39	2,09	123,45	1,5	159,68	1,93
Ecart-Types	136,96	0,73	127,30	0,78	73,14	1,01	73,33	0,90	102,68	0,85
Bouse vache(kg/ha)										
Min	-	-	-	-	250	-	-	-	250	-
Max	-	-	-	-	1000	-	-	-	1000	-
Moyenne	-	-	-	-	500	-	-	-	500	-
Ecart-Types	-	-	-	-	350	-	-	-	350	-

Légende: Q = Quantité, N = Nombre applications

La fréquence d'application des herbicides est variable. Elle est de 1 à 3/an à Soubré, Méagui et Gagnoa et de 1 à 2/an à Divo avec une dose moyenne de 0,54 L/ha. Les doses apportées par application ont été plus élevées à Soubré (0,84 L/ha), Divo (0,58 L/ha), Gagnoa (0,58 L/ha) et très bas à Méagui (0,18 L/ha). L'application des pesticides se fait à la fréquence de 1 à 12 fois par an à Divo, de 1 à 6 fois à Soubré, de 1 à 4 fois à Méagui et de 1 à 3 fois à Gagnoa. Les doses appliquées ont été de 1,39 L/ha en moyenne. Au niveau des départements les doses sont plus élevées à Soubré (2,50 L/ha) et Divo (1,40 L/ha) et bas à Méagui (1,25 L/ha) et Gagnoa (0,43 L/ha). L'utilisation des engrais chimiques (NPK) est estimée à 159,68 Kg/ha en moyenne. Par département, elles ont été de 214,90 Kg/ha à Soubré, 201,98 Kg/ha à Méagui, 123,45 Kg/ha à Gagnoa et 98,39 Kg/ha à Divo. La périodicité est de 1 à 3 ans à Soubré, Méagui et Gagnoa et de 1 à 5 ans à Divo. L'application des produits d'entretien est en moyenne de 2 applications/an pour les herbicides, proche de 3 applications/an pour les pesticides et tous les 2 ans pour le NPK. L'utilisation de la bouse de vache comme engrais organique a été plus fréquente à Méagui avec une dose 500kg/ha.

3.4 DISPONIBILITÉ DES COQUES DE CACAO

Le tableau 6 présente les rendements en fèves de cacao et quantités de coques de cacao produites selon les départements enquêtés.

Tableau 6. Rendement en fèves de cacao et quantités de coques de cacao produites en kg/ha/an

Départements	Soubré	Méagui	Divo	Gagnoa	Total
Rendement Fèves (Kg/ha/an)					
Min	166,66	75	50	113,75	101,35
Max	1203,75	1500	800	1800	1325,93
Moyenne	603,59	580,72	347,61	388,87	480,19
Ecart-Types	263,49	326,35	212,07	334,89	284,2
Coques de cacao (Kg/ha/an)					
Min	333,33	150	100	227,5	202,70
Max	2407,5	3000	1600	3600	2651,87
Moyenne	1207,19	1161,44	695,23	777,75	960,40
Ecart-Types	526,98	652,70	424,14	669,78	568,4

Source: Données d'enquêtes 2019/2020

La quantité moyenne de coques de cacao produite est de 960,40 Kg/ha/an dans les départements. Les quantités les plus élevées sont à Soubré (1207,19 Kg/ha/an) et les plus faibles à Divo (695 kg/ha/an). Avec une superficie moyenne de 4,63ha par producteur, la quantité de coques de cacao disponible par exploitation est estimée à 4 446,65 Kg/ha/an, soit plus de 4,4 tonnes/ha/an.

3.5 USAGE DES RÉSIDUS D'ÉCABOSSAGE

Le Tableau 7 présente les différents usages des résidus de cabossage dans les départements

Tableau 7. Modes d'usages des résidus de cabossage

Variables	Modalités	Nb producteurs	%
Usage coques cacao	Oui	55	44
	Non	70	56
Modes usages	Etalage sous cacaoyers/bananiers	28	22,4
	Compostage	11	8,8
	Fabrication potasse	9	7,2
	Compostage + fabrication potasse	4	3,2
	Etalage + compostage	2	1,6
	Etalage + fabrication potasse	1	0,8
Usage rachis cacao	Oui	17	13,6
	Non	108	86,4
Modes usages	Etalage sous cacaoyers	12	9,6
	Nutrition animale	2	1,6
	Nutrition animale + fabrication de potasse	3	2,4
Usage jus de cacao	Oui	125	100
	Non	0	0
Mode usage	Consommation	119	95,2
	Mélange aux herbicides	6	4,8

Les résidus de cabossage c'est-à-dire les coques sont valorisés par 44% des producteurs et 13,6% valorisent le rachis ou placenta du cacao. L'étalage des coques séchées sous les cacaoyers ou les bananiers est pratiqué par 22,4% d'entre eux (Figure 2a et 2b), et 8,8% les transforment pour produire du compost.



a) Coques de cacao étalées autour des jeunes cacaoyers



b) Coques de cacao étalées autour des jeunes bananiers

Fig. 2. Epandage des coques de cacao séchées sous les cacaoyers et bananiers

La durée de compostage varie entre 3 et 6 mois. Il est réalisé de façon archaïque dans les fosses creusées dans les plantations. Le compost obtenu est entièrement appliqué sous les cacaoyers. La figure 3 présente un tas de coques prêt à être composté (Figure 3a) et une fosse compostière (Figure 3b).



a) Coques de cacao en tas



b) Fosse compostière

Fig. 3. Compostage des coques de cacao

La fabrication de potasse à partir des coques de cacao est pratiquée par 7,2% des producteurs. C'est une technique traditionnelle qui permet de fabriquer du savon essentiellement utilisé pour le linge et la vaisselle. Cette activité de production et de commercialisation du savon constitue une importante source de revenu pour les femmes. Le processus consiste à obtenir un solide riche en potassium après avoir porté à haute température le liquide issu de l'incinération des coques de cacao. La figure 4 présente le matériel et le dispositif de fabrication de la potasse (Figure 4 a) et les blocs de potasse obtenus (Figure 4b).



a) Matériel de fabrication de la potasse



b) Blocs de Potasse

Fig. 4. Fabrication de potasse avec les coques de cacao

Les rachis ou placenta de cacao sont également utilisés par 9,6% des producteurs en épandage sous les cacaoyers. En dehors de l'épandage, certains les sèchent pour les utiliser dans la nutrition des animaux. La figure 5 présente les rachis étalés sous des cacaoyers (figure 5a) et séchées (figure 5b).



a) Rachis étalés autour des cacaoyers



b) Rachis séchés pour nutrition animale

Fig. 5. Usages du rachis (placenta) de cacao

Le jus du mucilage de fèves fraîches de cacao appelé communément ≪la boisson du cacao≫ est consommée directement par 95,2% des producteurs. Il existe certains producteurs de cacao (4,8%) qui utilisent le jus fermenté en mélange aux herbicides pour lutter contre l'enherbement dans les exploitations

4 DISCUSSION

Les Caractéristiques sociodémographiques des producteurs de notre zone d'étude montrent que les producteurs allochtones et étrangers sont passé de 44 % et 25 % en 2009 [20], [21] respectivement à 66,25% et 28,75% aujourd'hui avec toujours un faible niveau de scolarisation. Selon ([20]), la hausse de l'effectif de ces différentes communautés serait due à une forte migration de nombreux ressortissants du Centre, du Nord de la Côte d'Ivoire et des pays limitrophes vers les zones

cacaoyères depuis les années 90. La taille de l'exploitation cacaoyère par paysan est en baisse, elle est passée de 6,3 ha en 2009 [20] à 4,63 ha. Cette baisse de superficie s'expliquerait par la forte pression foncière, la disparition progressive des jachères et des forêts utilisées autre fois comme précédents pour la culture du cacao [21], [20]. Les vieilles plantations de cacao se substituent également avec le palmier à huile ou l'hévéa à cause des effets néfastes actuels des changements climatiques sur la cacaoculture [22]. Les pratiques culturales évoluent vers une utilisation plus accrue des herbicides ainsi que leur fréquence d'utilisation [23]. Il en est de même pour les pesticides. Cette tendance a été observée par [22] dans la même zone. La fertilisation minérale des cacaoyères par les producteurs prend aussi de l'importance. Selon [20], le nombre de paysan serait passer de 44% à 80,31% actuellement. Malgré cette augmentation du nombre d'utilisateurs d'engrais chimiques, les doses et les fréquences d'application restent encore en deçà des normes recommandées par la recherche. L'usage de la fumure organique est au stade embryonnaire avec seulement 11,24% des producteurs. Par ailleurs, ce taux précédemment estimé à 15% serait en régression [24]. La rareté ou l'insuffisance de la fiente de poulet dans les nouvelles régions productrices constituent la cause [25].

La quantité de coques de cacao générée par exploitation est importante (près de 4,44 tonnes/ha/an) alors que peu de producteurs s'intéressent à leur valorisation. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que la transformation des résidus de cabossage en divers produits tels que le compost ou la potasse dépend du nombre d'actifs agricoles dans le ménage, du temps de travail et de la communauté dans laquelle les producteurs sont issues. Le compostage des coques de cacao est encore très peu pratiqué avec 8,8% des paysans aujourd'hui contre 1% selon les études de [26]. Malgré les efforts consentis par la recherche et les partenaires d'encadrement agricole sur la valorisation de matière organique par le compostage dans les exploitations. Les producteurs préfèrent les étaler directement sous les cacaoyers et les bananiers. Cette pratique a nettement évolué dans la même zone, elle est passée de 6% [26] à 22,4% aujourd'hui. La fabrication de potasse est entièrement pratiquée par les femmes alors que sa commercialisation permet de générer des revenus additionnels dans le ménage. En effet, de la collecte des coques jusqu'à l'obtention de la potasse (état solide), les taches s'avèrent pénibles, surtout l'incinération des coques et la cristallisation. Ce sont essentiellement les femmes des producteurs qui s'adonnent à cette activité en petits groupes pour réduire la pénibilité du travail. L'usage des résidus de cabossage pour la nutrition des animaux est encore très faible pourtant, étant donné leur forte teneur en sels minéraux et vitamines, ils peuvent être utilisés en nutrition animale [7], [27]. L'usage du jus de mucilage des fèves de cacao comme herbicide pour le traitement des mauvaises herbes devient de plus en plus important. Selon les producteurs, le mélange jus de cacao fermenté aux herbicides serait plus efficace et économique car elle permet de réduire la quantité et le coût des herbicides. Ce type d'usage du jus de cacao serait due à la teneur en acide acétique contenu dans le jus qui double après 40 heures de fermentation [28].

5 CONCLUSION

L'étude a montré l'effectivité de la baisse des superficies moyennes des exploitations cacaoyères dans la zone Gagnoa, Soubré, Méagui et Divo. Cette zone de forte production de fèves de cacao dispose aussi de grande quantité de coques de cacao estimée par exploitation à 4,4 tonnes/ha/an ces résidus de cabossage sont peu valorisés par les producteurs en Côte d'Ivoire. Les principaux usages se limitent à l'étalage des coques séchées et du rachis (placenta) sous les cacaoyers et les bananiers plantains. Les autres modes d'usages (compostage et fabrication de potasse) des coques et les autres résidus de cabossage (rachis (placenta) pour la nutrition animale et jus de cacao fermenté pour les traitements herbicides) sont encore peu exploitées. Au regard des résultats, les pratiques existantes devraient être améliorées. Pour une cacaoculture durable, de nouvelles techniques de valorisation des coques doivent être développé pour créer des revenus additionnels aux exploitants et contribuer à améliorer l'environnement phytosanitaire des exploitations.

REFERENCES

[1] Tano A. M. (2012). Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Méadji au Sud-Ouest ivoirien. Thèse de Doctorat l'Université de Toulouse 262p. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00713662.

[2] FAO (2015). Cadre de programmation pays 2012-2015, Côte d'Ivoire 30 p https://www.fao.org/documents/card/fr/c/54bfc6c2-48a6-4003-87ee-138153bbe8fe/.

[3] A. Sangaré, E. Koffi, F. Akamou et C. A. Fall (2009). Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Ministère de l'agriculture/République de Côte d'Ivoire. 65p.

[4] Banque Mondiale (2019). Situation Economique en Côte d'Ivoire: Au pays du cacao - commentaire transformer la Côte d'Ivoire 64p. http://hdl.handle.net/10986/32156.

[5] ICCO (2023). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol.XLIX, No.1, Cocoa year 2022/23, 1p. https://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-XLIX-No.-1.pdf

[6] CCC (2017). Conseil Café Cacao. Journées nationales du cacao et du chocolat 4è édition des journées nationales du cacao et du chocolat Abidjan (JNCC), Evolution de la filière café-cacao de 2012 à 2017. 60p.
[7] A. E. Pitcholo (1990). Essai d'utilisation des péricarpes de cabosses de cacao (Theobroma cacao l.) dans l'alimentation des poulets de chair au Togo. Thèse d'Etat de l'Université Cheick Anta Diop de Dakar N°39. 120p.
[8] K. A. Adden (2017). Amélioration de la productivité des vergers de cacaoyers (theobromacacao linn.) pour une gestion forestière durable au Togo. Thèse de Docteur de l'Université de Lomé. 161p. https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01567889.
[9] E. Mboua, D. Bitondo et F.O. Tabi (2020). Effet de l'incorporation des broyats de coques de cacao et des résidus de café robusta sur quelques propriétés chimiques et sur la disponibilité du potassium dans les ferralsols de l'Ouest-Cameroun, Etude et Gestion des Sols, 27, pp 209-220. https://www.researchgate.net/publication/344579766.
[10] M.D. Djeké, P.K.T. Angui et J. Y. Kouadio (2011). Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire: effets sur les caractéristiques chimiques des sols. Biotecol. Agron. Soc. Environ 15 (1), pp 109-117.
[11] A. H. D. Abobi, T. K. P. Angui et Y. J. Kouadio (2014). Influence de la fertilisation à base des coques de cacao sur les paramètres chimiques d'un ferralsol et sur la croissance du maïs (Zea mays L.) à Oumé, Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 82: pp 7359-7371. http://dx.doi.org/10.4314/jab.v82i1.4.
[12] Y. Ahenkorah, M. R. Appiah and B. J. Halm. (1988). Production and utilisation of cocoa pod husk as source of potash fertilizer. In: Proc. 10th International Cocoa Conference, Santo Domingo: pp 843 – 848.
[13] H. K. Adu-Dapaah, J. Cobbina et E.O. Asare (1994). Effect of cocoa pod ash on the growth of maize. The Journal of Agricultural Science, Volume 122, N°1, pp 31-32.
[14] R. Branckaert, F. Vallerand et J-C. Vincent. (1973). La farine de cabosse de cacao dans l'alimentation du porc. Café, Cacao, Thé, 17 (4) pp 313-320.
[15] L. K. Koko, K. E. Kassin, G. Yoro, K. Ngoran, A. A Assiri. et A Yao-kouame. (2009) Corrélations entre le vieillissement précoce des cacaoyers et les caractéristiques morphopédologiques dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 24: pp 1508-1519.
[16] R. Balliet, M.B. Saley, E. L. A. Eba, M. V. Sorokoby, B. H. V. N'Guessan, A.O. N'Dri, K. B. Djè et J. Biémi (2016). Évolution Des Extrêmes Pluviométriques Dans La Région Du Gôh (Centre-Ouest De La Côte d'Ivoire). European Scientific Journal August 2016 édition vol.12, No.23 ISSN pp74-87. http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n23p74.
[17] V.M. Sorokoby, M. Saley, F. Kouamé E.M.V., Djagoua, M. Bernier, A. Kouadio et J. Biémi (2010). Utilisation des images Landsat ETM+ et du SIRS pour la cartographie linéamentaire et thématique de Soubré-Méagui (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Revue Télédétection, vol. 9, n° 3-4, pp 209-223. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01969059.
[18] N. T. Kouamé, G. M. Gnahoua, K. E. Kouassi et D. Traoré (2008). Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (CentreOuest de la Côte d'Ivoire): flore, habitats et organes consommés. Sciences & Nature Vol. 5 N°1: pp 61 – 70.
[19] K.E. Kassin, K. Doffangui, B. Kouamé, R.G. Yoro et A. Assa (2008). Variabilité pluviométrique et perspectives pour la replantation cacaoyère dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences, Vol. 12: pp 633 – 641.
[20] A. A. Assiri, G. R. Yoro, O. Deheuvels, B. I. Kebe, Z. J. Keli, A. Adiko et A. Assa (2009). Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (Theobroma cacao L.) en Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences. Vol. 2, Issue 1: pp 55-66.
[21] K.B. Hema, R. Zerbo et G.R.Y. Koffi (2018). Pratiques agricoles des migrants burkinabés en Côte d'Ivoire et investissements socio-économiques liés à la culture du cacao. Tropicultura, 2018 36, 2, pp 299-313.
[22] L. K. Koko, G. Yoro, K Ngoran., et A Assa. (2008). Evaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le sud-ouest de la côte d'ivoire. Agronomie Africaine 20 (1): pp 81- 95.
[23] E. J. Ano, A. Tahiri, Y. K. S. Diby et Y. M. Siapo (2018). Évaluation des pratiques phytosanitaires paysannes dans les cacaoyères: Cas du département d'Abengourou (Est, Côte d'Ivoire). Journal of Animal & Plant Sciences, Vol.38, Issue 1: pp 6159-6174.
[24] F. Ruf et K. Allagba (2016). Le cacao aux portes d'Abidjan: de la forêt à la décharge publique. Traques et caches des innovations villageoises. Paris: Inter réseaux développement rural, 14p https://agritrop.cirad.fr/581996/.
[25] F. O. Ruf (2015). La fertilisation des cacaoyères en Côte d'Ivoire, 35 ans d'innovations villageoises. Agronomie environnement & sociétés. Volume n°5/ numéro n°2. 15p https://www.researchgate.net/publication/308399996.
[26] F. Ruf, S. Lemeilleur et Y. N'Dao (2013). Certification du cacao, stratégie à hauts risques. bulletin http://www.interreseaux.org/IMG/pdf/Certification_du_cacao_Ruf_juin2013.
[27] K. E Adabe et E. L Ngo-Samnick. (2014). Production et transformation du cacao. Collection Pro-Agro. 44p. https://hdl.handle.net/10568/76733 (14/04/2021).
[28] P. Tissot (1936). La fermentation du Cacao. In: Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 16ᵉ année, bulletin n°176, pp 264-276.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1286-1297
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

EVALUATION DE L'ETAT TROPHIQUE DES EAUX DU FLEUVE COMOE (COTE D'IVOIRE) A PARTIR DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE ET MICRO-ALGALE

[ASSESSMENT OF THE TROPHIC STATUS OF THE WATERS OF THE COMOE RIVER (COTE D'IVOIRE) USING PHYSICO-CHEMICAL AND MICRO-ALGAL ANALYSES]

Mamadou KAMAGATE[1], Koffi KOMOE[1], and Blé Alexis Tardy KOUASSI[2]

[1]Laboratore des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 918 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

[2]UFR Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Demographic pressure on watercourses in Côte d'Ivoire is causing increasing degradation of water quality. One of the indicators of water quality is the micro-algal population. The aim of this study is to assess the trophic status of the waters of the Comoé River, based on physico-chemical parameters and micro-algal populations. Four sampling campaigns were carried out from February 2020 to January 2021 at ten selected stations on the river. Abiotic variables were measured in situ and in the laboratory. Microalgae were collected using a plankton net and observed under photonic and electron microscopes for identification. Several indices for assessing the trophic status of the waters were calculated. The study revealed that the waters are relatively warm, rich in nutritive salts and not very transparent. A total of 190 taxa in 79 genera, 39 families, 23 orders, 10 classes and 5 phyla were identified. The Euglenophyceae class, with 58 taxa (30.52%), is the most diverse. The calculated A and B indices range from 6.14 to 7.69 and from 1.14 to 2.23 respectively. The C index fluctuates between 0.20 and 1.18. Nutrient concentration, transparency values and the A, B and C indices indicate that the river's waters are eutrophic, with more pronounced eutrophy in the middle and lower reaches.

KEYWORDS: Microalgae, trophic status, Comoe River, Ivory Coast.

RESUME: La pression démographique sur les cours d'eau en Côte d'Ivoire est à l'origine de la dégradation croissante de la qualité de ces eaux. L'un des indicateurs de la qualité des eaux est le peuplement micro-algal. La présente étude a pour but d'évaluer l'état trophique des eaux du fleuve Comoé à partir des paramètres physico-chimiques et du peuplement de micro-algues. Quatre campagnes d'échantillonnages ont été effectués de février 2020 à janvier 2021 dans dix stations choisies sur le fleuve. Les variables abiotiques ont été mesurées in situ et au laboratoire. Les micro-algues ont été prélevées à l'aide d'un filet à plancton et observées aux microscopes photonique et électronique pour identification. Plusieurs indices d'appréciation de l'état trophique des eaux ont été calculés. L'étude a révélé que les eaux sont relativement chaudes, riches en sels nutritifs et faiblement transparentes. Au total, 190 taxons répartis en 79 genres, 39 familles, 23 ordres, 10 classes et 5 embranchements ont été identifiés. La classe des Euglenophyceae comptant 58 taxons (30,52 %) est la plus diversifiée. Les indices A et B calculés varient respectivement de 6,14 à 7,69 et de 1,14 à 2,23. Quant à l'indice C, il oscille entre 0,20 et 1,18.
La concentration en nutriments, les valeurs de la transparence ainsi que les indices A, B et C indiquent que les eaux du fleuve sont eutrophes avec une eutrophie plus accentuée dans les cours moyen et inférieur**.**

MOTS-CLEFS: Micro-algues, état trophique, Fleuve Comoé; Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Mamadou KAMAGATE

1 INTRODUCTION

La qualité des eaux dans le monde connait une grande détérioration. Ce constat est fait dans plusieurs pays dont le Sénégal **[1]** le Togo **[2],** le Cameroun **[3]** etc, où les cours d'eau sont sujets à de fortes pressions démographiques **[4].** En effet, les rejets industriels non traités, l'utilisation intensive d'intrants agricoles (pesticides, herbicides, engrais chimiques, etc) et l'exploitation abusive des ressources aquatiques ont des conséquences négatives sur les hydrosystèmes et les ressources en eau **[5].**

A l'instar de ces pays, les cours d'eau en Côte d'Ivoire subissent une pression humaine très poussée. En effet, les nombreuses activités anthropiques sur les bassins versants, associés aux risques hydro-climatiques amplifient dangereusement la dégradation de la qualité de ces milieux **[6].** Par ailleurs, les régimes fluviaux connaissent des variations interannuelles très sensibles avec pour conséquences, les inondations et l'assèchement des lits **[6].** Cette situation entraine une importante perte de la diversité biologique et la détérioration de l'état écologique des fleuves. Le fleuve Comoé, l'un des principaux fleuves de Côte d'ivoire n'échappe pas à cette triste réalité. Ces dernières années, son bassin versant est confronté à de fortes crues et des inondations, entrainant entre autres des dégâts matériels, d'importantes pertes de cultures maraîchères et des maladies liées au débordement des eaux usées **[7].** Cette situation a des conséquences sur la biodiversité et l'écologie du fleuve dont la sauvegarde nécessite un suivi pour le maintien de la qualité des eaux. La surveillance de la qualité de l'eau a longtemps été basée sur les analyses physico-chimiques **[8].** Cependant, l'analyse biologique permet d'identifier les perturbations et leurs effets sur les communautés vivantes du milieu. Il parait donc judicieux d'utiliser des organismes vivants tels que les micro-algues dont on connait les exigences écologiques **[9]** pour juger de l'état d'un hydrosystème et de ses perturbations. En effet, dans des conditions de stabilité et d'enrichissement du milieu en substances nutritives favorables, une population de micro-algues peut se développer et selon le cas être bénéfique ou préjudiciable pour l'Homme **[10].** En outre, plusieurs indices basés sur la réaction de certaines espèces d'algues aux conditions du milieu, sont utilisés pour la surveillance biologique des eaux **([11]; [12]).** Pour contribuer à une meilleure connaissance de son écologie, cette étude a été initiée en vue d'estimer le niveau de trophie des eaux du fleuve Comoé par l'analyse des données physico-chimiques et du peuplement de micro-algues.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Cette étude a pris en compte la partie du fleuve comprise entre Kafolo (frontière Ivoiro-burkinabè) et Grand-Bassam (embouchure) **(Figure 1).**

Prenant sa source à 420 m d'altitude dans la falaise de Banfora (Burkina Faso), le fleuve Comoé traverse la Côte d'Ivoire du Nord au sud et se jette dans la lagune Ébrié à Grand-Bassam **[13].** Ce fleuve, le plus long de la Côte d'Ivoire (1160 km au total dont 150 km au Burkina Faso), draine un bassin versant de 78000 km^2 dont 57300 km^2 en Côte d'Ivoire **[14].** A part une forte pente à la source, la pente moyenne est assez faible avec 0,25 m/km **[15].**

La Comoé connaît trois régimes hydrologiques en relation avec les différents régimes climatiques auxquels il est soumis **[15]:**

- Le régime tropical de transition au cours supérieur du bassin. Ce régime comporte une crue unique, d'août à octobre et une longue période d'étiage, de janvier à mai.
- Le régime équatorial de transition atténué au cours moyen. Avec deux saisons des pluies, ce régime compte deux crues en juin–juillet et en septembre-octobre.
- Le régime équatorial de transition au cours inférieur. Deux périodes de hautes eaux sont observées avec la crue la plus importante en juin-juillet et la seconde en octobre-novembre **[16].**

2.2 ÉCHANTILLONNAGE ET TECHNIQUES D'ANALYSE DES DONNEES

Quatre campagnes d'échantillonnage ont été effectuées suivant le rythme climatique dans chacune des dix (10) stations choisies en tenant compte de leur accessibilité et d'éventuelles pressions anthropiques **(tableau I).** Ces campagnes ses sont déroulées en juillet, septembre et novembre 2020 et en janvier 2021.

Pour chaque campagne, les prélèvements ont été faits entre 8 heures et 10 heures de la journée. Les paramètres tels que la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, ont été mesurés *in situ* avec un multiparamètre portable de type HANNA HI 9829.

Un disque de Secchi de 29 cm de diamètre a servi pour la mesure de la transparence de l'eau.

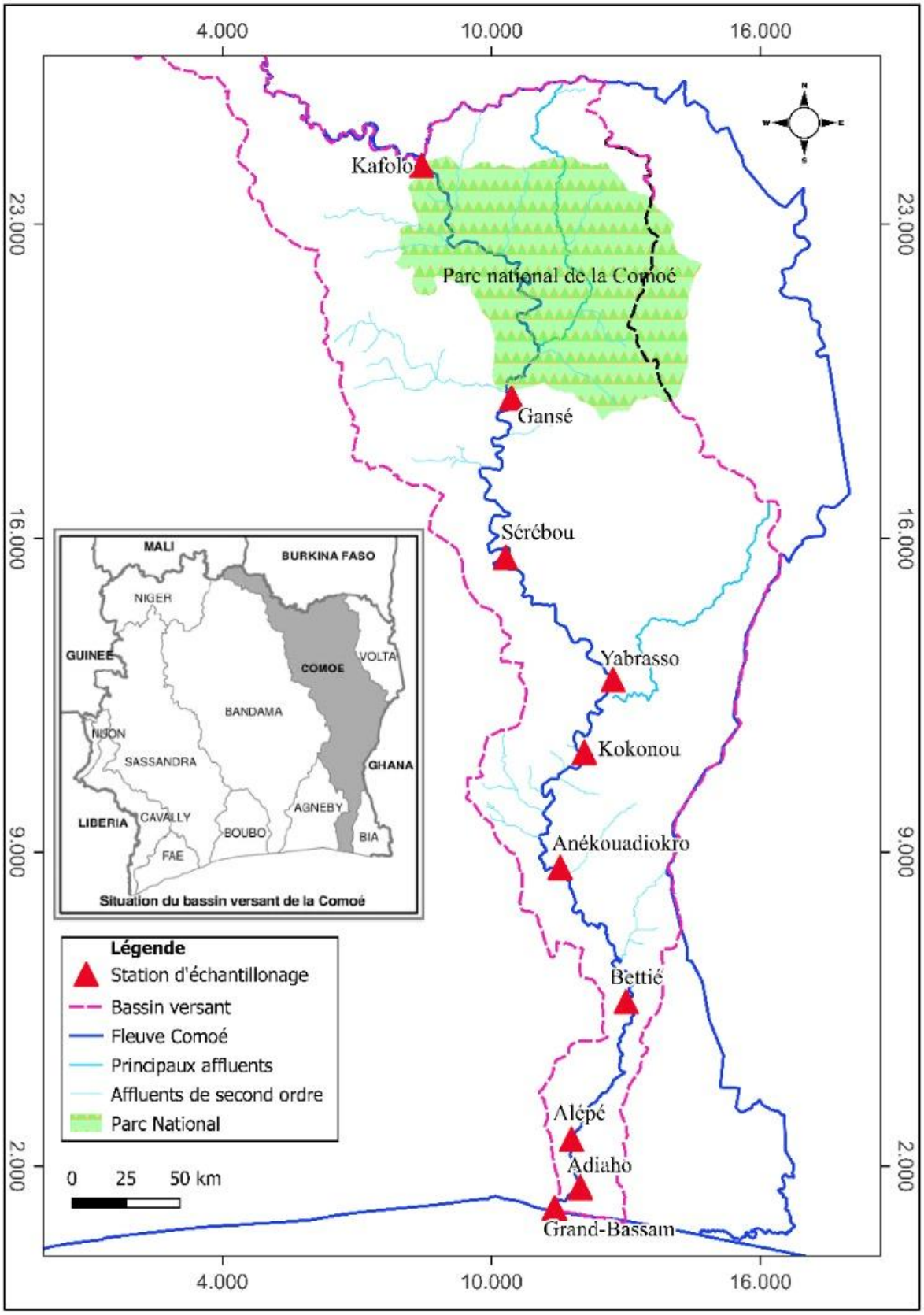


Fig. 1. Carte du bassin versant de la Comoé avec les stations d'échantillonnage

Source: Kamagaté et Bamba
Conception: Gnamba, 2023

Tableau 1. Coordonnées et caractéristiques des stations d'échantillonnage

Partie du fleuve	Stations	Code station	Coordonnées des stations	Activités anthropiques
Cours supérieur	Kafolo	Kafo	09°58'847 N – 04°30'820 W	- élevage de Bovin - culture de cotonniers
	Gansé	Gans	08°61'493 N – 03°92'148 W	- Parc national de la Comoé - Cultures de riz et de cotonniers
Cours moyen	Sérébou	Séré	07°56'247 N – 03°56'257 W	- pêche artisanale -plantation de cacaoyers - lessive
	Yabrasso	Yabr	07°26'525 N – 03°30'317 W	- pêche artisanale -plantation de cacaoyers - transport par pirogues motorisées
	Kokonou	Koko	07°07'186 N – 03°37'177 W	- pêche artisanale -plantations de cacaoyers, d'hévéa, de manioc - lessive
	Anékouadiokro	Anék	06°38'135 N – 03°42'457 W	- pêche artisanale - plantation de cacaoyers - construction de pont
Cours inférieur	Béttié	Bétt	06°03'594 N – 03°25'227 W	- pêche artisanale - plantations de cacaoyers, d'hévéa - lavage d'engins (motos, véhicule)
	Alépé	Alép	05°50'260 N – 03°65'683 W	- pêche artisanale -plantation de cacaoyers - extraction de sable - lessive -Production de briques
	Adiaho	Adia	05°28'544 N – 03°61'570 W	- pêche artisanale - plantation de cacaoyers - culture d'ananas - lessive
	Grand-Bassam	GrdB	05°21'544 N – 03°71'611 W	- pêche artisanale - culture de riz - cultures maraîchères

En ce qui concerne les sels nutritifs, les échantillons d'eau destinés à l'analyse des paramètres chimiques ont été prélevés à 50 cm en dessous de la surface de l'eau et recueillis dans des bouteilles en plastiques de 1 litre puis conservés dans des glacières. Au laboratoire, la mesure des orthophosphates s'est faite par colorimétrie suivant la norme française T 90 023 **[17].** Le dosage des nitrates a été effectué selon la méthode de réduction au cadmium **[18].**

Quant aux micro-algues, les récoltes pour l'étude qualitative ont été effectuées à l'aide d'un filet à plancton de 20 µm de vide de maille dans lequel ont été filtrés 100 L d'eau à l'aide d'un seau d'une capacité de 10 litres. Des piluliers d'une contenance de 40 mL ont été utilisés pour recueillir et conserver les prélèvements. Quelques gouttes de formol à 5 % ont été ajoutées à ces prélèvements pour la fixation et la conservation des organismes contenus dans ces échantillons.

Les observations ont été faites au microscope photonique de type Olympus CKX41 et au microscope électronique à balayage (MEB). L'identification des taxons a été faite grâce aux clés de détermination et/ou divers ouvrages sur les micro-algues: **[19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26].** Les informations actualisées sur les différents taxons ont été obtenues à partir de **[27].**

Pour déterminer l'état de trophie des eaux, **[11]** suivant **[28]** a proposé plusieurs indices dont le plus largement utilisé est l'indice composé: c'est le rapport de la somme du nombre d'espèces de quatre groupes d'algues typiques des conditions eutrophes (Cyanophycées, Chlorococcales, Centrales, Euglénophycées) sur le nombre d'espèces d'un groupe typique des conditions oligotrophes (Desmidiacées):

$$A = \frac{\text{Cyanophycées} + \text{Chlorococcales} + \text{Centrales} + \text{Euglénophycées}}{\text{Desmidiacées}} \quad (1)$$

A = indice composé. Cet indice définit 3 états de trophie:

0,3 < A < 1=milieu oligotrophe.

1 < A < 2,5 = milieu mésotrophe

2,5 < A < 5 = milieu eutrophe

Un second indice B a été utilisé pour reconnaître le type de trophie:

$$B = \frac{\text{Chlorococcales}}{\text{Desmidiacées}} \quad (2)$$

B < 1 = milieu oligotrophe

B > 1 = milieu eutrophe

Un troisième indice C, dérivant des Diatomées, traduit le rapport du nombre d'espèce des Centrales sur celui des Pennales:

$$C = \frac{\text{Centrales}}{\text{Pennales}} \quad (3)$$

C: 0 - 0,2 = milieu oligotrophe

C: 0,2 - 3 = milieu eutrophe

2.3 TRAITEMENT STATISTIQUE

Les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis ont permis de tester la variance des paramètres physico-chimiques entre les différents points de prélèvements sur le fleuve. Ces tests sont significatifs pour $p < 0,05$. Toutes ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R version 4.2.1.

3 RESULTATS

3.1 VARIATION SPATIALE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

La variation spatiale des paramètres abiotiques étudiés est présentée par les **Figures 2** à **7.** Des paramètres comme l'oxygène dissous, les nitrates, des orthophosphates varient significativement d'une station à une autres (p<0,05). Entre revanche, la température, la transparence et la conductivité ne varient pas significativement entre les stations ($p > 0,05$).

La température varie de 26,36 °C à 33,4 °C **(Figure 2),** avec une moyenne de 28,93 °C. La température maximale est enregistrée à la station de Kafolo et la minimale à Sérébou.

La transparence des eaux oscille entre 8,5 cm (Yabrasso) et 45,5 (Adiaho) cm **(Figure 3).** La valeur moyenne est de 17,51 cm.

Le taux d'oxygène dissous oscille entre 4,48 mg/L (à Adiho) et 7,76 mg/L (à Grand-Bassam). Avec une moyenne de 5,93 mg/L, ce taux baisse légèrement vers l'aval **(Figure 4).**

La conductivité varie de 41,51 µS/cm à 187,38 µS/cm **(Figure 5).** La moyenne est de 70,69 µS/cm. La valeur maximale est enregistrée à la station de Grand-Bassam.

La concentration en nitrates oscille entre 1,6 mg/L et 6,17 mg/L **(Figure 6).** La moyenne est de 4,26 mg/L. Avec la minimale notée à Gansé, le taux en nitrates croit de l'amont vers l'aval.

La teneur en orthophosphates évolue de 0,09 mg/L à 0,75 mg/L avec une moyenne de 0,46 mg/L **(Figure 7).** La plus grande valeur est notée à la station d'Alépé et la plus petite valeur à Kafolo. Le taux d'orthophosphates augmente de l'amont vers l'aval.

3.2 COMPOSITION TAXINOMIQUE DU PEUPLEMENT DE MICRO-ALGUES

Au total, 190 taxons (espèces, variétés et formes), repartis en 79 genres, 39 familles, 23 ordres, 10 classes et 5 embranchements, ont été inventoriés dans les eaux du fleuve Comoé. Les embranchements les plus riches en taxons sont les Euglenophyta avec 59 taxons soit

31,05 %, les Chlorophyta avec 55 taxons soit 28,94 % et les les Hétérokontophyta avec 51 taxons soit 26,84 %. La classe des Euglenophyceae comptant 58 taxons (30,52 %) est la plus diversifiée, suivie des Bacillariophyceae avec 43 taxons (22,63 %) et des Chlorophyceae, 37 taxons (19,47 %). Au niveau des ordres, les plus diversifiés sont respectivement les Euglenales avec 58 taxons (30,52 %), les Sphaeropleales, 30 taxons (15,78 %), les Naviculales, 16 taxons (8,42 %), les Desmidiales, 13 taxons (6,84 %) et les Bacillariales avec12 taxons (6,18 %). La famille des Euglenacae comptant 45 taxons (23,68 %) et celle des Scenedesmaceae, 14 taxons (7,36 %) sont les plus diversifiées. Les genres Trachelomonas et Strombomonas enregistrent les plus grands nombres de taxons avec respectivement 24 et 16 taxons.

Les nombres de taxons de certains de ces groupes d'algues **(Tableau 2)** ont servi au calcul des indices de trophie.

3.3 ÉTUDE DE L'ETAT TROPHIQUE DES EAUX DU FLEUVE COMOE

3.3.1 ETAT TROPHIQUE DES EAUX SELON L'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

Les valeurs moyennes annuelles des paramètres physico-chimiques soumises aux grilles d'évaluation selon **[29]** et selon **[30]** indiquent que les eaux sont eutrophes. Notons que les paramètres ayant servi à cette analyse sont les teneurs en orthophosphates, en nitrates et la transparence des eaux. De cette analyse, il ressort que les valeurs de ces paramètres sont toutes supérieures aux seuils indiqués par **[29]** et **[30]** pour des eaux eutrophes **(tableaux 3 et 4).**

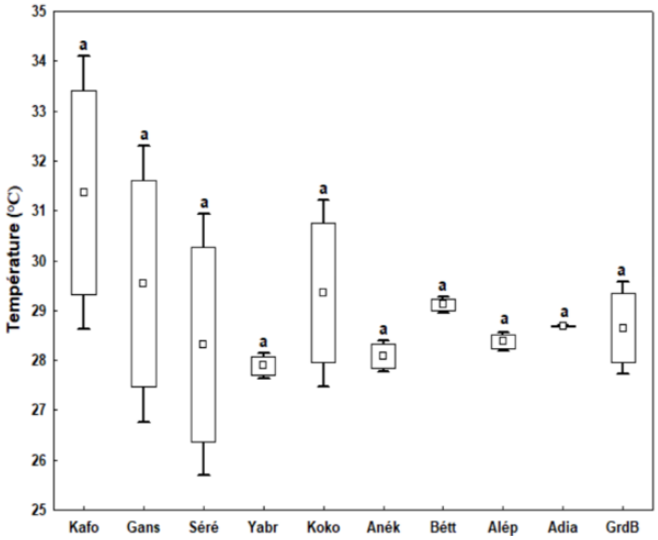


Fig. 2. Variation spatiale de la température des eaux du fleuve Comoé

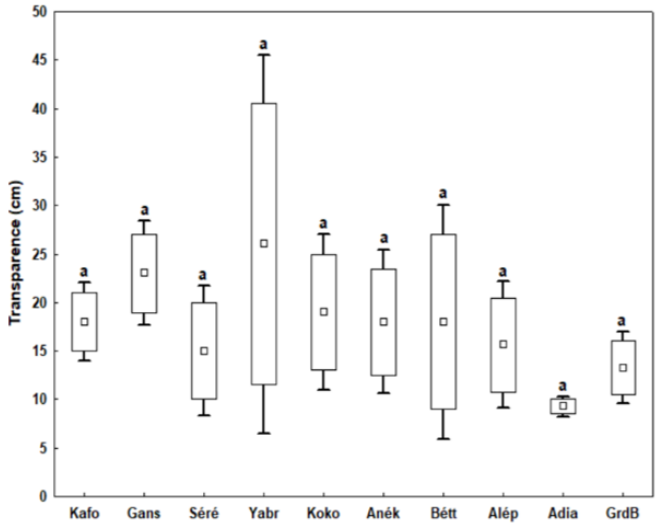


Fig. 3. Variation spatiale de la transparence des eaux du fleuve Comoé

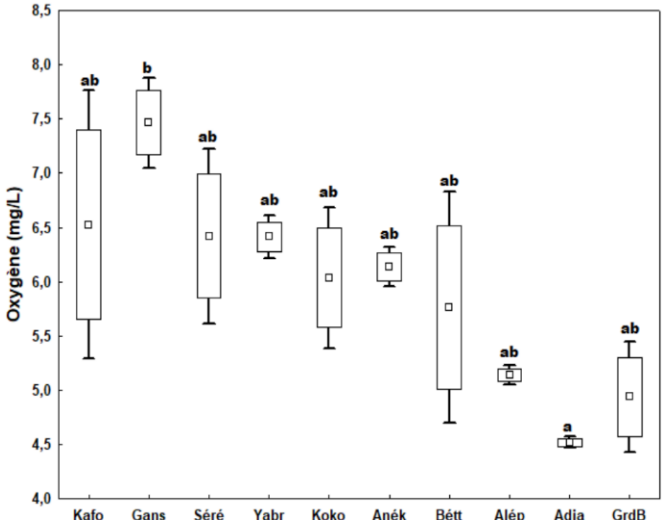


Fig. 4. Variation spatiale de l'oxygène dissous des eaux du fleuve Comoé

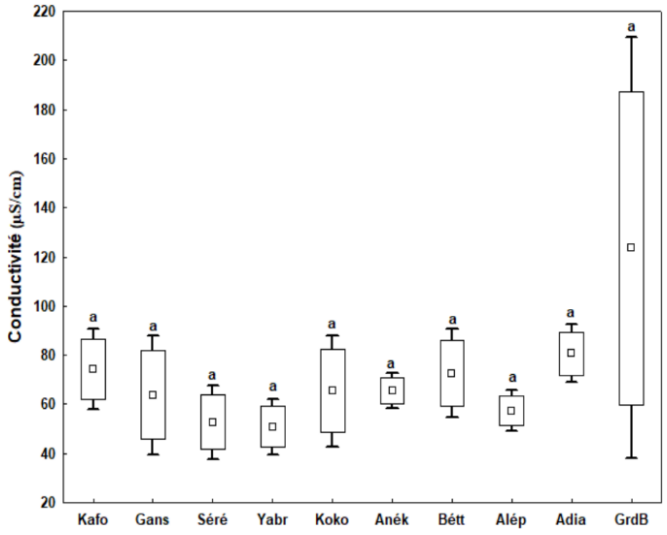


Fig. 5. Variation spatiale de conductivité des eaux du fleuve Comoé

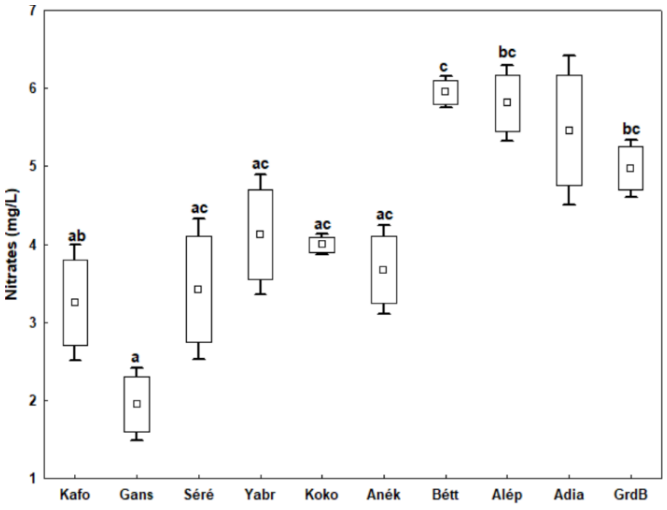


Fig. 6. Variation spatiale de la teneur en nitrates des eaux du fleuve Comoé

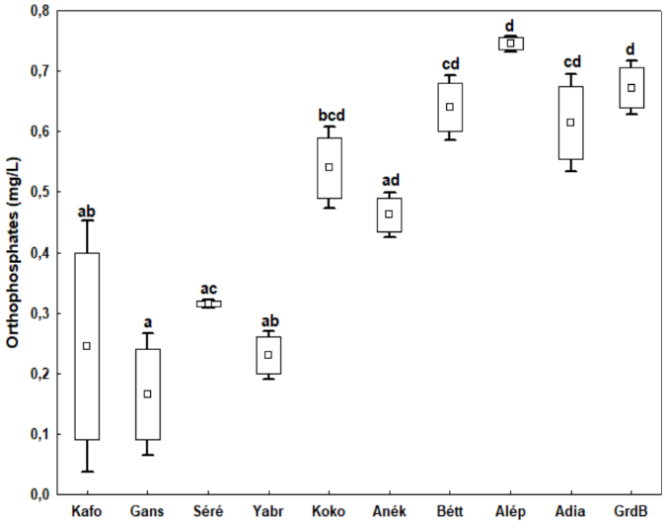


Fig. 7. Variation spatiale de la teneur en orthophosphates des eaux du fleuve Comoé

3.3.2 ETAT TROPHIQUE DES EAUX SELON LA COMPOSITION MICRO-ALGALE

La taxinomie étant en perpétuelle évolution, certains groupes taxonomiques considérés par **[11]** ont connu des modifications dans leurs compositions. Ainsi, les taxons appartenant aux ordres des Desmidiales et des Zygnematales, inventoriés dans le fleuve Comoé, sont considérés comme des Desmidiacées par **[11].** Ceux appartenant aux ordres des Chlorellales et des Sphaeropleales forment l'ordre des Chlorococcales; les Anaulales, Aulacoseirales, Chaetocerales et Stephanodiscales constituent l'ordre des Centrales selon **[11].** Quant aux ordres des Bacillariales, Cymbellales, Licmophorales, Naviculales et Surirellales, ils appartiennent à l'ordre des Pennales considéré par **[11].**

Les valeurs des indices *A, B* et *C* suggèrent un état globalement eutrophe des eaux (**tableau 5).** Pour chacun de ces indices, les valeurs sont plus élevées dans le cours moyen et le cours inférieur. Le test de Kruskal-Wallis réalisé avec ces valeurs indique que l'état de trophie ne varie pas significativement dans les différentes parties du fleuve ($p > 0,05$).

4 DISCUSSION

4.1 PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU FLEUVES COMOE

La mesure des paramètres physico-chimiques a permis de connaître la variation de ces paramètres le long du fleuve Comoé.

Les eaux de la Comoé sont moyennement bien oxygénées (5,93 mg/L). Cela serait dû au caractère lotique des eaux. En effet, selon **[31],** l'écoulement de l'eau favorise l'apport d'oxygène à travers l'interface air-eau. Nos valeurs sont en congruence avec celles obtenues dans les rivières Soumié (3,6 à 6 mg/L), Éholié (5 à 9,2 mg/L), Éhania (4,1 à 9,8 mg/L) et Noé (6,3 à 9,8 mg/L) au Sud de la Côte d'Ivoire **[32].**

Elles sont légèrement au-dessus de celles obtenues par **[33]** sur le Bandama (3,62 mg/L en moyenne) et par **[34]** dans la rivière Nkam (3,54 à 4,22 mg/L) au Cameroun.

Concernant les sels nutritifs (nitrates et orthophosphates), les valeurs moyennes (respectivement 4,26 mg/L et 0,46 mg/L) sont supérieures aux seuils fixés à 0,45 mg/l pour les nitrates et 0,03 mg/l pour les orthophosphates **[35].** Ce résultat indique que les eaux du fleuve Comoé sont assujetties à un risque d'eutrophisation par les nitrates et les orthophosphates **[36].** De plus, les concentrations de ces sels sont plus élevées de l'amont vers l'aval. Ce gradient amont-aval de minéralisation, serait attribuable au fait que sous l'action des eaux de ruissellement, ces sels nutritifs sont transportés dans le lit du fleuve **[37],** puis drainés par le courant vers la partie aval.

Tableau 2. Nombre de taxons de quelques grands groupes de micro-algues des eaux du fleuve Comoé récoltées de février 2020 à janvier 2021

Partie du fleuve	Cyano	Eugléno	Centra	Penna	Chloroco	Desmi
Cours Supérieur	1	32	2	10	8	7
Cours Moyen	16	47	8	37	29	13
Cours Inférieur	18	39	7	38	23	14
Tout le Long	22	59	9	42	35	15

Cyano: *Cyanophycées****; Eugléno:*** *Euglénophycées;* ***Centra:*** *Centrales;* ***Penna:*** *Pennales,* ***Chloroco:*** *Chlorococcales;* ***Desmi:*** *Desmidiacées*

Tableau 3. Caractérisation de l'état trophique des eaux du fleuve Comoé selon la grille de [29]

	Oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Cours supérieur	Cours moyen	Cours inférieur
Phosphore total (µg/l)	< 10	10 – 20	> 20	**205**	**386,88**	**668,13**
Azote total (µg/l)	< 200	200 - 500	> 500	**2600**	**3805,63**	**5548,75**
Transparence (m)	> 3,7	2 - 3,7	< 2	**0,205**	**0,195**	**0,14**

Tableau 4. Caractérisation de l'état trophique des eaux du fleuve Comoé selon la grille de [30]

Etats trophiques	Azote total (mg/L)	Phosphore total (µg/L)
Oligotrophe	< 0,70	< 25
Mésotrophe	0,70 - 1,50	25 – 75
Eutrophe	> 1,50	> 75
Fleuve Comoé		
Cours supérieur	**2,6**	**205**
Cours moyen	**3,80563**	**386,88**
Cours inférieur	**5,54875**	**668,13**

Le pluviolessivage des produits issus des activités humaines sur le bassin versant serait à la base de l'enrichissement des eaux en ces sels **[38].** Ce phénomène pourrait traduire la présence massive de macrophytes observées dans les stations de Grand-Bassam et d'Adiaho **[2].**

Les plus fortes valeurs de conductivité sont relevées dans la partie Sud du fleuve en saison sèche. En effet la zone estuarienne du fleuve constitue à ce jour une sorte de réceptacle, recevant des rejets domestiques et des matières organiques issues du lessivage des terres cultivées (**[38]; [39]).** Ce fait serait lié à la fermeture de l'embouchure **[41],** qui rompt le contact fleuve-mer. La dissolution de ces produits dans le milieu, entrainerait une augmentation de la conductivité. Ce qui est plus marqué en saison sèche où les eaux sont moins diluées.

Les eaux du fleuve Comoé sont peu transparentes (17,5 cm en moyenne). Les plus faibles valeurs de ce paramètre sont mesurées en saisons pluvieuses et sont plus marquées dans les stations de la partie Sud. En effet, l'accumulation des particules (sable, détritus,…), provenant des zones en amont, les activités menées sur les berges et l'éboulement des berges par les eaux de ruissellement en période de crue **[42],** seraient la cause de cette faible transparence des eaux. Ce résultat corrobore ceux de **[15]** sur les cours d'eau côtiers de la Côte d'Ivoire, de **[32]** sur les rivières Soumié, Eholié, Ehania et Noé et ceux de **[39]** sur les rivières Mé et Boubo.

4.2 ETAT TROPHIQUE DES EAUX DU FLEUVE COMOE

Lorsque l'eutrophisation survient, elle impacte aussi bien les organismes vivants que les paramètres abiotiques (**[22]; [43]).**

Dans le présent travail, l'analyse des paramètres abiotiques (nitrates, orthophosphates et transparence) a permis de classer le fleuve Comoé dans la catégorie des milieux eutrophes selon **[29]** et **[30].** Par ailleurs, l'état d'eutrophie est plus marqué au niveau du cours moyen et du cours inférieur. De plus, une baisse de la transparence des eaux du cours supérieur vers le cours inférieur est observée. Ces observations traduiraient une qualité moindre des eaux dans les zones Centre et Sud du fleuve. En effet, il a été remarqué au cours de cette étude, une intense activité d'orpaillage clandestin et d'autres pratiques agricoles dans la partie centrale du bassin du fleuve. Le drainage par les eaux de ruissellement des déchets issus de ces activités aurait fortement contribué à la dégradation de la qualité de l'hydrosystème. Aussi les teneurs en nitrates et en orthophosphates croissent du Nord au Sud. Cela expliquerait la présence massive de macrophytes sur le plan d'eau dans la partie Sud du fleuve (Grand-Bassam, Adiaho, Alépé). En effet, selon **[22]** et **[43],** un apport excessif

de nitrates et de phosphates entraîne une prolifération des algues et un développement des végétaux aquatiques. Toutefois la valeur moyenne de l'oxygène dissous (6,11 mg/L) sur l'ensemble du fleuve indique que les eaux sont de bonne qualité (norme OMS 2004). Nos observations sont similaires à celles faites par **[44]** sur la rivière Mfoundi au Cameroun. Ces auteurs ont remarqué un état d'eutrophisation des eaux graduellement accentué de l'amont vers l'aval de cette rivière.

En ce qui concerne l'analyse des micro-algues, elle corrobore l'analyse physico-chimique. En effet, tous les indices calculés (*A, B* et *C*), indiquent un état eutrophe des eaux. Cet état d'eutrophie serait lié à la faible proportion des Desmidiacées parmi les taxons identifiés. Les micro-algues sont dans l'ensemble dominées par les Euglénophytes. La prédominance des Euglénophytes traduit la richesse du milieu en nutriments. En effet, la dominance des Euglenophyta est caractéristique des milieux eutrophes **[43].** Notons que les valeurs élevées des indices de trophie dans les zones Centre et Sud du fleuve, pourraient indiquer des conditions abiotiques plus favorables au développement de certains groupes de micro-algues dans ces parties du fleuve. C'est ce qui explique la grande diversité algale dans ces zones. Les eaux sont globalement eutrophes. Cette situation serait imputable au fait que les espèces indicatrices de milieux eutrophes sont relativement plus abondantes dans le milieu **[33].**

5 CONCLUSION

Le présent travail a permis de déterminer certaines caractéristiques abiotiques et biotiques du fleuve Comoé. Il a révélé la composition floristique, l'évolution des paramètres physico-chimiques et l'état de trophie du fleuve. Les valeurs des paramètres tels que l'oxygène dissous, les nitrates et les orthophosphates ont connu des variations entre les stations pendant les différentes saisons d'échantillonnage.

Cette étude a permis d'inventorier 190 taxons répartis en 79 genres, 39 familles, 23 ordres, 10 classes et 5 embranchements, avec une prédominance des Euglenophyta.

Les analyses physico-chimiques et micro-algales ont montré un état eutrophe des eaux du fleuve Comoé. Notons que cette eutrophie des eaux est graduellement plus prononcée de l'amont vers l'aval.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ONG SOS FORET pour le co-financement de nos travaux de recherche. Nous remercions également le Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité de l'Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire) et le Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan (C.R.O) pour leurs contributions dans la facilitation de ces travaux.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

[1] Diagne, I., Drame, S., Ndiaye, M., Nddiaye, B., et Diop A, Caractérisation physico-chimique et contamination métallique des eaux usées déversées au niveau de la baie de Hann (Dakar/Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.;* 11 (1): 462-472, 2017.

[2] Atanle, K., Moctar L., Bawa., Kokou K., et Gbandi D. B, La caractérisation physico chimique et diversité phytoplanctonique des eaux du lac de Zowla (Lac Boko), au Togo. *J. Appl. BioSci.,* 64: 4847- 4857, 2012.

[3] Priso, R. J., Oum, G. O., et Ndongo, D, Utilisation des macrophytes comme descripteurs de la qualité des eaux de la rivière Kondi dans la ville de Douala (Cameroun-Afrique Centrale). *J. Appl. BioSci.,* 53: 3797-38911, 2012.

[4] Mama, D, Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Université de Limoges. Thèse de doctorat. 2010; 157p.

[5] Noukeu, N. A., Gouado, I., Priso R. J., Ndongo, D., Taffouo, V. D., Dibong; S. D., and Ekodeck G.E, Characterization of effluent from food processing industries and stillage treatment trial with Eichhornia crassipes (Mart.) and Panicum maximum (Jacq.). Water Resources and Industry, 16: 1-18, 2016.

[6] Amoussou, E, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 312p, 2010.

[7] Ahouansou, M, Modélisation du fonctionnement hydrologique dans le bassin versant de l'Ouémé à Savè: Contribution à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau. Dissertation, Université de Abomey-Calavi, 2008.

[8] Buchez A., Dorigo, U., et Rimet F, Surveillance des impacts environnementaux d'effluents aqueux de sites industriels par les diatomées dulçaquicoles. *Etude Record,* 07 1016/1A, p. 175, 2010.

[9] Wuhrman, N.K, Some problems and perspectives in applied limnology. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.,* 20: 324-402, 1974.

[10] Evangelista, V., Barsanti, L., Frassanito, A.M., Passareli, V., and Gualtieri P, Algal Toxins, Nature, Occurrence, Effect and Detection. Springer: Netherlands. 2007.

[11] Nygaard, G, Hydrobiological studies of some Danish ponds and lakes. II. The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms K. *Danske Vidensk. Selsk. Biol. Skr.* 7 (1): 1-293, 1949.
[12] Bellinger, E.G. and Sigee, D.C, Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators (2nd edn). Wiley Blackwell: USA, 2015.
[13] Vanden Bossche, J. P., and Bernacsek, G. M, Source book for the inlandfishery resources of Africa. FAO, *CIFA Technical Paper,* 18 (2): 71-94, 1990.
[14] Hauhouot, C, Les problèmes de l'aménagement de l'estuaire du fleuve Comoe à Grand-Bassam. *Les cahiers d'Outre-mer,* 307-324, 2002.
[15] Iltis, A., et Lévêque, C, Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Revue d'Hydrobiologie tropicale,* 15 (2): 115-130, 1982.
[16] Yao, S. S, Etude de la diversité biologique et de l'écologie Alimentaire de l'ichtyofaune d'un hydrosystème Ouest africain: cas du bassin de la Comoé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 280 p, 2006.
[17] Grasshoff, K., Ehrhardt, M., et Kremling, K, Méthodes d'analyse de l'eau de mer. 2è édition, *Verlag Chemie Weinhein,* New York, 419 p, 1983.
[18] Tréguer, P., et Le Corre, P, Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 110 p, 1975.
[19] Bourrelly, P, Les Algues d'eau douce, Initiation à la Systématique. Tome III: Les Algues Bleues et Rouges. *Éditions N. Boubée et Cie,* Paris, 512 p, 1970.
[20] Compère, P, Algues de la région du lac Tchad. VI-Chlorophycophytes (2eme partie: Ulotrichophycées, Zygnématacées). *Cahiers de l'O.R.S.T.O.M., Série Hydrobiologie,* 10 (3): 135-164, 1976b.
[21] Compère, P, Algues de la région du lac Tchad. VII. Chlorophycophytes: 3eme partie: Desmidiées. *Cahier de l'O.R.S.T.O.M, Série Hydrobiologie.,* 11 (2): 77-177, 1977.
[22] Ouattara, A, Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire). Thèse de l'Université Catholique Leuven, Belgique. 200 p, 2000.
[23] Komárek, J., and Anagnostidis, K, Cyanoprokaryota -2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales. In: Büdel B., Krienitz L., Gärtner G. & Schagerl M. (Eds.): Süβwasserflora von Mitteleuropa 19/2, Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 759 p, 2005.
[24] John, M.D., Whitton, A.B., and Brook, A.J, The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae. Cambridge University Press, 702 p, 2004.
[25] Sophia, M.G., Dias, I.C.A., and Araújo A.M, Chlorophyceae and Zygnematophyceae from the Turvo State Forest Park, state of Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botanique, Porto Alegre,* 60 (1): 25-47, 2005.
[26] Ciugulea, I., Nudelman, M.A., Brosnan, S. and Triemer, R.E, Phylogeny of the Euglenoid loricate genera Trachelomonas and Strombomonas (Euglenophyta) inferred from nuclear SSU and LSU rDNA. *Journal of Phycology,* 44: 406-418, 2008.
[27] Guiry, M.D., and Guiry G.M, AlgaeBase. World wideelectronic publication, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org; searched on 15, 16, 17 August 2023.
[28] Thunmark, S, Zur Soziologie des Süsswasserplanktons. *Folia Limnol. Scand.,* Vol. 3: 1- 66, 1945.
[29] Mason, C. F, Biology of freshwater pollution. Second edition, Longman Scientific & Technical, New York. 350 p, 1991.
[30] Smith, V.H, Tilman G.D., and Nekola, J.C, Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution,* 100 (1): 179-196, 1999.
[31] Villeneuve, V., Legare, S., Painchaud, J., et Vincent W, Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Revue des Sciences de l'eau,* 19 (4): 259 – 2274, 2006.
[32] Niamien-Ébrottié, J. E, Composition et distribution spatio-temporelle des peuplements d'algues de quatre rivières du Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Soumié, Eholié, Ehania et Noé). Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Cote d'Ivoire, 146 p, 2010.
[33] Kouadio, A. V, Dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques et du phytoplacton dans le bassin versant du Bandama (Côte d'Ivoire) dans une perspective de production d'eau potable. Thèse de doctorat de l'université Nangui abrogoua, Abidjan (Côte d'Ivoire), 164 p, 2022.
[34] Taffouo, V.D., Ikoli, S.R.A., Mbeng, O.L., et Eyango T.M, Impacts des caractéristiques physico-chimiques des eaux sur la distribution du phytoplancton et des acrophytes de la rivière Nkam (Cameroun), *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (4): 1766-1784, 2017.
[35] Hade, A, Nos Lacs: les Connaître pour Mieux les Protéger. Edition FIDES: Quebec, 2007.
[36] Makhoukh, M., Sbaa, M., Berthoud, A., et Clooster, V.M, Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (Maroc oriental). *Larhyss J.,* 9: 149-169, 2011.
[37] Troeh, F.R., Hobbs, J.A., and Donahue, R.L, Soil and water conservation for productivity and environmental protection, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
[38] Seu-Anoï, N.M, Structuration spatiale et saisonnière des peuplements phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de Côte-d'Ivoire (Aby, Ébrié et Grand-Lahou). Thèse de doctorat de l'Université NanguiAbrogoua (Côte d'Ivoire), 137 p, 2012.

[39] Salla, M, Taxinomie, composition et distribution Spatio-saisonnière du phytoplancton des Rivières tropicales côtières boubo et mé (Côte d'ivoire). Thèse de doctorat de l'université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 263 p, 2015.

[40] Keumean, K.N., Bamba, S.B., Soro, G., Metongo, B.S., Soro, N., et Biemi, J, Evolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau de l'estuaire du fleuve Comoé (Sud-est de la Côte d'ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* 7 (4): 1752-1766, 2013.

[41] Adopo K.L., Kouassi K.L., Wognin A.V.I., Monde S., Aka K. Caractérisation des sédiments et morphologie de l'embouchure du fleuve Comoé (Grand-Bassam, Côte d'Ivoire). *Revue Paralia,* 1, pp 2.1-2.10, 2008.

[42] Affian K., Kadio B., Djagoua E.V., Digbehi Z.B., MondéS., Wognin A.V., Adonis K. D. et MobioA. Flux de la matière en suspension du fleuve Comoé dans la zone littorale ivoirienne. *Sciences et Médecine 1 Rev.* CAMES - Série A, 06, 2008.

[43] Guergueb, S, Étude des niveaux de concentration de l'azote et du phosphore minéraux et leur incidence d'eutrophisation à l'embouchure de l'oued el-kébir est (wilaya d'el-tarf), Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université Badji Mokhtar Annaba, République Algérienne Démocratique et Populaire, 126 p, 2016.

[44] Ebang, D.M., Zébazé, T.S.H., Foto, M.S., Kemka, N., Nola, M., Boutin, C., Nguetsop, V.F., Djaouda, M., et Njiné, Bio-écologie des diatomées épilithiques de la rivière Mfoundi (Yaoudé, Cameroun): diversité, distribution spatiale et influence des pollutions organiques. *Journal of water Science,* 25 (3): 203-218, 2012.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1298-1304
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Synthesis and study of morphological structure of N-methyl, N-benzyl derivative of chitosan

F. Samira Safaraliyeva[1], B. Dilgam Taghıyev[2], A. Nizami Zeynalov[3]

[1]Ph.D student ARESM Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry Named After Acad.M.Nagiyev, Azerbaijan

[2]Academician, Director ARESM of named after acad. M.Nagiyev Institute of Catalysis and Inorganic, Chemistry, Azerbaijan

[3]Prof., Head of Department of «Nanostructured Metal-Polymer Catalysist», ARESM Institute Catalysis and Inorganic Chemistry named after Acad. M. Nagiyev Baku AZ1143, Azerbaijan

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The products obtained as a result of the simultaneous reaction of chitosan, a Schiff-based natural polyaminosaccharide, with formaldehyde and benzaldehyde were synthesized by the method indicated in the experimental part of the article. The two amine groups formed were then reduced with NaBH4 to give the corresponding tertiary amine derivative. The structure of the obtained product was characterized by scanning electron microscopy and elemental analysis was determined. The introduction of hydrophobic methyl and benzyl groups into the macromolecule of chitosan reduces the intermolecular interaction and hydrogen bonding. causes. This leads to an increase in the degree of polarization and better solubility of the functional groups of the product in the polar environment.

KEYWORDS: N-Benzyl N-Methyl Chitosan, Alkylation, Polymers, Drug delivery, levotiroxin-Na pentahydrate, Arylation.

1 INTRODUCTION

Polymers are widely used in drug delivery and formulation due to their many superior properties. Polymers used in colloidal drug delivery systems consisting of small particles have great advantages in drug delivery systems due to optimized drug loading and release properties [1]. Novel drug delivery systems include micelles, dendrimers, liposomes, polymeric nanoparticles, microcapsules, and lipoproteins. Recent advances in polymer-based encapsulation and controlled release of drugs help regulate drug administration by preventing under- or over-dosing [2]. These advanced systems play a promising role in improving biocompatibility, minimizing side effects, and preventing adverse effects in patients. Polymers have also become an integral part of drug delivery systems due to their improved pharmacokinetic properties. They have a better circulation time (circulation) than conventional small drug molecules, so they target tissues more precisely. Unlike the free drug, when it is used in a polymer-bound form, the polymer carrier leads to its longer-lasting effect, reduces its toxicity, and increases its safety and effectiveness by controlling the rate, time and place of drug release in the body. Also, drug delivery systems improve the pharmacodynamic and pharmacokinetic properties of the drug, e.g. increases plasma residence time, stability, improves solubility of small molecule drug and has a wide potential for targeted drug delivery [3]. Such polymers are mostly used in the field of polymer therapy and nanomedicine. [4,5]. In traditional drug delivery systems, preparations are used in the form of capsules, pills, coatings and encapsulation of biologically active drug molecules [1,2].

Polymers play a universal role in such compositions; they function as binding agents in capsules, film coating agents in tablets, and viscosity enhancers in emulsions and suspensions.

Polymeric drug delivery systems are used for controlled drug delivery that ensures patient compliance. The polymers used in these systems must be non-toxic, biodegradable and biocompatible. The most commonly used polymers in drug delivery include cellulose derivatives, poly-N-vinyl pyrrolidone, polyethylene glycol, etc. includes.

Most "smart" polymers are used for immobilization and transportation of biologically active compounds and drugs. Smart polymers have the ability to change their shape and properties depending on environmental conditions [6-10]. Various environmental irritants include temperature, pressure, pH, electric and magnetic fields, light, changes in density, ionic strength, reduction potential, etc. belongs to Dissolution, precipitation, swelling, change in conformation, as well as changes in hydrophobic and hydrophilic properties are the responses to such irritants.

Among the "smart" polymers, stimuli-responsive, pH-sensitive hydrogels are the most studied. These polymers have the ability to change their volume under the influence of various factors, especially external factors such as pH, temperature and ionic strength of the environment [11-15].

Among polymers, natural polymers are considered to be the most widely used materials that enhance the therapeutic effects of pharmaceutical preparations. Natural polymers are biodegradable, biocompatible and safe compared to synthetic polymers. Carbohydrate polymers are widely studied in biomedicine and pharmaceuticals. Polysaccharides include starch, pectin, guar gum, etc. It is used in the preparation of various types of medicinal forms. Preparations for the controlled separation of isoniazid and diltiazem were prepared by using quartz crystal. The importance of natural polymers is that they are not only used in traditional medicine, but also play a major role in the development of new delivery systems [16].

One of the natural polymers used in drug delivery is chitosan. Chitosan is used in various industries, including pharmaceuticals, lipid blocker and cholesterol-lowering additives [17], cosmetics, [18,19], medical tissue regeneration and wound healing preparations [18,19,20]. Among the various biopolymers available in nature, chitosan has attracted attention due to its unique antimicrobial properties [21]. In addition, chitosan is a non-toxic, biodegradable polymer with high biocompatibility, mucoadhesive properties, high absorption [22,23]. Due to such useful properties, chitosan is widely used in drug delivery systems [24,25]. Despite these attractive properties, chitosan also has its drawbacks, which include its poor mechanical properties and high degree of degradation. To overcome this problem, they are usually either sutured with occlusive agents or impregnated with other natural or synthetic polymers. The effect of various properties of chitosan is particularly important in terms of their utility in the development of innovative, multipurpose drug delivery systems [26]. Chitosan nanoparticles have anticancer properties, which have been confirmed by many researchers [27-39]. Evidence shows that they exhibit satisfactory biocompatibility with normal developing cells or tissues against oral [35], breast [36–39], prostate [40,41], glioblastoma [42], liver [43,44] and colon cancers. has been done. Apart from the release kinetics, the main evaluation of the anticancer effect of the emerging nanoparticles was to obtain the pH dependence of the release, which is very useful in targeted therapy [46]. Sensitivity to environmental pH helps overcome the problem of premature release of chemotherapeutic drugs during delivery. It eliminates the problems related to the difficulty of drugs entering cancer cells and side effects in normal organs. All these reports are extremely important; however, most of them require verification in the form of in vivo studies.

2 MATERIALS

Chitosan Mn=35 kDa (degree of deacetylation 85-87%), acetic aldehyde (≥99.0%), NaBH4 (purum p.a., ≥96%), acetic acid (Glacial), ethanol (95%), acetone (residue analysis, ≥ 99.9%), diethyl ether (containing 1 ppm BHT as inhibitor, anhydrous, ≥99.7%), NaCl (BioXtra, ≥99.5%), acetonitrile from Sigma-Aldrich (anhydrous, 99, 8%). Methyl iodide (99%) stabilized with copper is from Acros Organics.

3 PREPARATION OF HYDROGEL BASED ON N-METHYL, N-BENZYL CHITOSAN

The synthesis of N-methyl N-benzyl based hydrogel of chitosan was carried out in two stages - first, both alkylation and arylation were carried out at the same time, and then the reduction process was carried out [47]. The synthesis process was carried out according to the known methodology based on the Schiff reaction. 1.5 g is suspended in 60 ml of 2% CH3COOH solution (which retains 7.29 mmol of -NH2 groups). A mixture of 0.81 ml of formaldehyde and 0.74 ml of benzaldehyde is added drop by drop and intensively mixed. 30 min. then the color of the solution changes from light brown to a white milky suspension. Stirring is continued for 4 hours under inert nitrogen atmosphere. In the end, a viscous-fluid gel is formed. After coming to a boil, the mass is allowed to rest for 12 hours, 8 ml of solution dissolved in 0.36 g of NaBH4 is added dropwise and stirring is continued for 2-3 hours. At this time, the pH of the environment is 4.0-4.5. After 4 hours, the acidity of the solution is raised to pH=10 by adding 1M NaOH (50ml). As a result, the gel collapses. First, the gel is washed with distilled water until the filtrate is neutral. Then it is washed successively with alcohol and collapsed in acetone. Finally, after extraction with diethyl ether for 4 days in Soxhlet, it is freed from diethyl ether until a constant weight is obtained at 40-50 ºC.

4 CHARACTERIZATION OF N-METHYL, N-BENZYL CHLORIDE CHITOSAN BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Morphological surface images of chitosan, intermediate and final product were obtained by scanning electron microscope (SEM, JSM-6390, Japan).

5 CONCLUSION

In the course of the studies, the derivative of the protons in the amine groups in the chitosan macromolecule, in which both methyl and benzyl groups were included, was also used for the immobilization of levotrioxin-Na pentahydrate. The inclusion of both alkyl and aromatic radicals in the structure is of great interest in terms of properties of the newly obtained carrier, in terms of drug capacity, sorption, isotherms, thermodynamic parameters and release in certain environments for levotrioxin-Na pentahydrate. The synthesis of N-methyl N-benzyl chitosan in the presence of methanal and benzaldehyde in an acidic environment and UV, IR and X-ray studies of the structure of the obtained product were carried out in [47].

The synthesis of the main matrix was carried out according to the method indicated in the work, the formation process of N-methyl N-benzyl chitosan was studied depending on the molar ratio of its components, the density and nature of aldehydes, the average molecular mass of chitosan, and the reaction time. It was determined that, as shown in the work, the hydrogen atoms in the amino groups in the chitosan structure are not completely replaced, and the structural composition of the final product obtained corresponds to the following chemical structure:

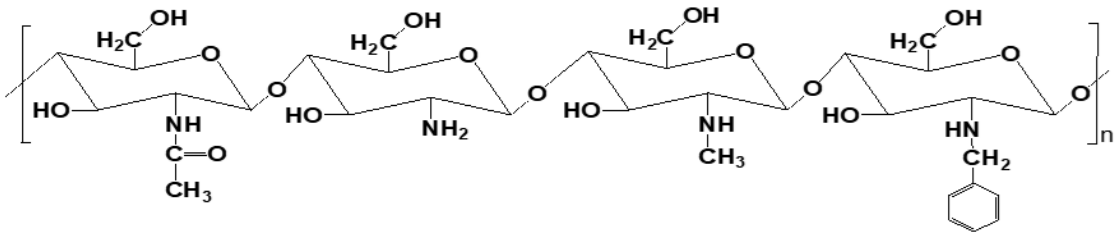


Fig. 1. Proposed chemical structural composition of N-benzyl N-methyl chitosan

Unlike the structural and spectroscopic analyzes conducted in the previous study [47], SEM morphological measurements of the product were performed and comparative analyzes were performed. SEM micrographs of the initial chitosan and the final product were recorded at the Institute of Biomaterials and Composites, Italy. First, the SEM surface morphologies of chitosan before alkylation, and then of the final product obtained after reaction with methanal and benzaldehyde were studied (Figure 2).

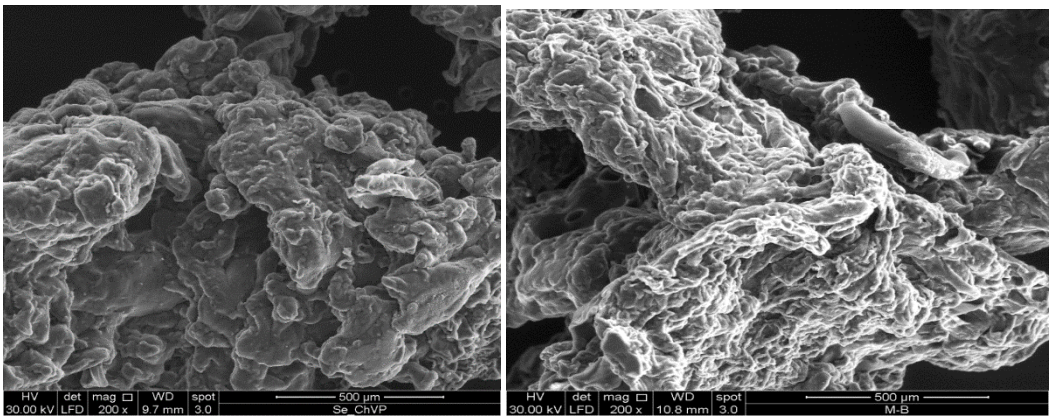


Fig. 2. SEM micrographs of chitosan (left) and N-methyl N-benzyl chitosan

As can be seen from the picture, the surface microstructures of the samples at the same 500 µm size and 200x magnification differ from each other. While the surface of chitosan appears smooth and microparticles, after alkylation, more wrinkles and unevenness are observed. Visible surface folds and densifications prove that the chitosan has undergone chemical

transformation. During the SEM analysis, the surface structure of the main product was viewed with 800 and 1500 magnification and clearer images were obtained (Figure 3.)

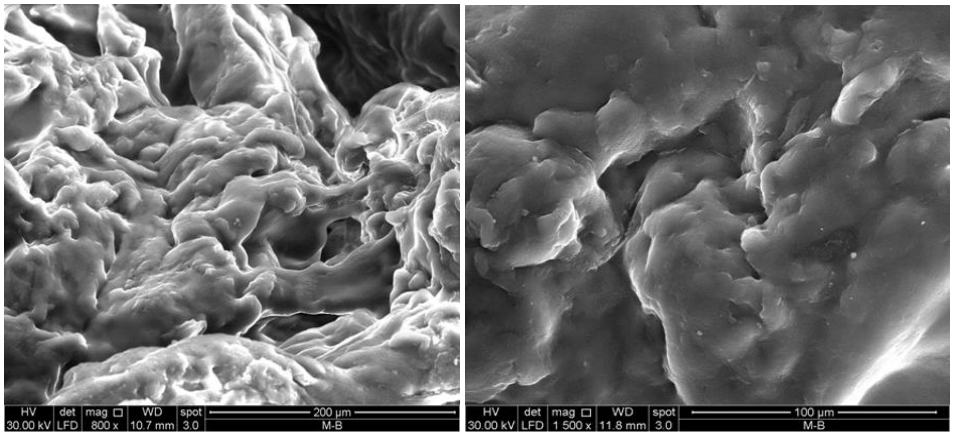


Fig. 3. SEM micrographs of N-methyl N-benzyl chitosan at different zoom states

As can be seen from the picture, the same similar microstructure was formed on all surface areas of the main product. This proves that alkylation occurred equally in all fragments of the polysaccharide macromolecule. Alkylation of N-methyl N-benzyl chitosan with aldehydes covered the entire chain and did not cause the formation of small particles resulting from the degradation and breakage of the polymer chain.

During the experiments, after the alkylation process, quaternization of N-methyl-N-benzyl chitosan and conversion from iodized derivative to chlorinated derivative was carried out, so SEM studies of that intermediate and final salt form were also conducted. Thus, the surfaces of N-methyl N-benzyl chitosan quaternized with methyl iodide and N-methyl N-benzyl chloride chitosan obtained from its ion replacement with NaCl have been proven to have different structures (Figure 4).

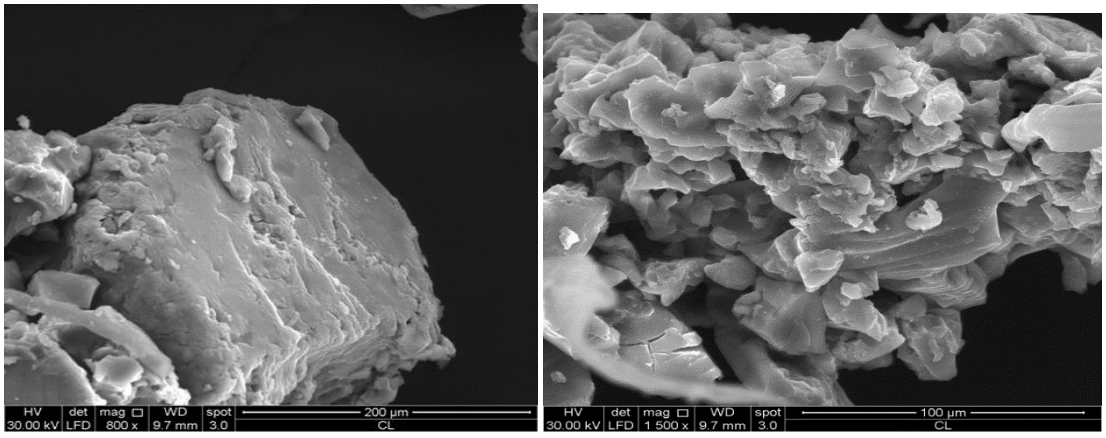


Fig. 4. SEM micrographs of N-methyl N-benzyl chitosan iodide (left) and N-methyl N-benzyl chitosan chloride

From the analysis, it was determined that when the main product was transformed into both iodized and chlorinated salt form, the crystallinity of the surface increased, and the sample showed itself in the characteristic form of crystalline substances with ionic bonds. This also proves that the main product quaternized with iodine and chlorine is in the form of an organic salt, and the ionic bond formed in the composition affects the surface morphology of the substance.

The obtained results were also manifested in the energy-dispersive spectra showing the elemental analysis of the samples. The following figure shows the energy-dispersive spectrum of N-methyl N-benzyl chitosan iodine by elements.

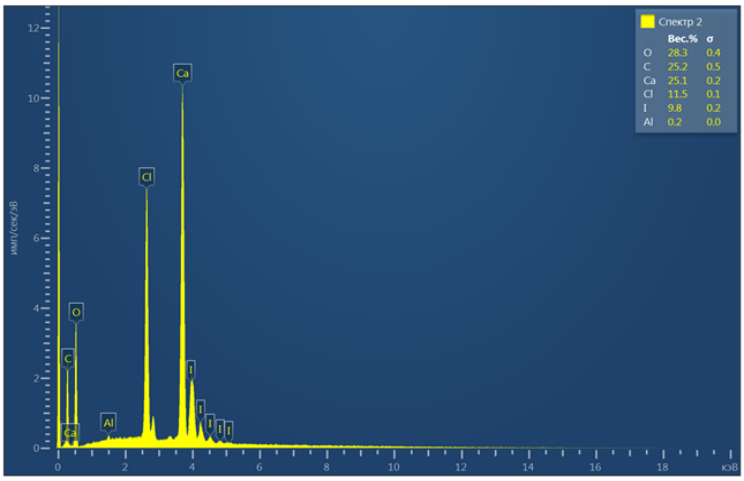


Fig. 5. Energy-dispersive spectrum of N-methyl N-benzyl chitosan iodine

As can be seen from the spectrum, since the sample was initially quaternized with iodine, the share of iodine in the composition is 9.8%. The percentage of carbon, oxygen and chlorine is 25.2, 28.3 and 11.5%, respectively. After ion substitution with NaCl, the change in the share of elements in the composition proves that the process is effective (Figure 6).

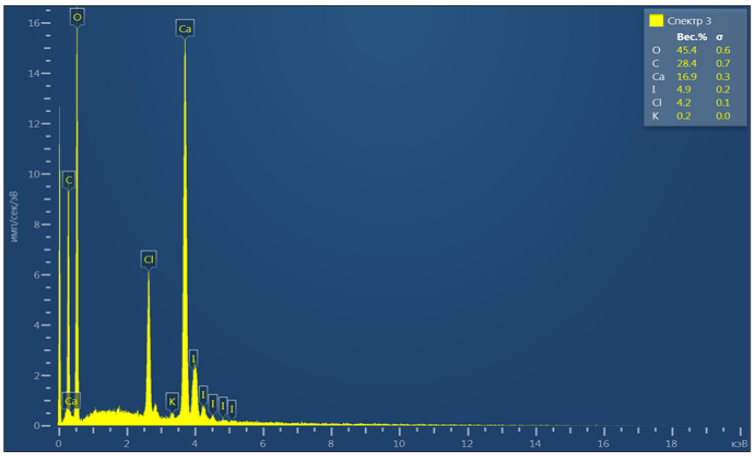


Fig. 6. Energy-dispersive spectrum of N-methyl N-benzyl chitosan chloride

REFERENCES

[1] Apurva Srivastava, Tejaswita Yadav, Soumya Sharma, Anjali Nayak, Akanksha Akanksha Kumari, Nidhi Mishra. Polymers in Drug Delivery. Journal of Biosciences and Medicines. Vol.4 No.1, January 2016.

[2] Liechty, W.B., et al. (2010) Polymers for Drug Delivery Systems. Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering, 1, 149-173.

[3] Duncan R; The dawning era of polymer therapeutics. Nature Reviews Drug Discovery, 2003; 2: 347–360.

[4] Schmaljohann, D. (2006) Thermo and pH Responsive Polymers in Drug Delivery. Advanced Drug Delivery Reviews, 58, 1655-1670.

[5] V. Sri Vajra Priya, Hare Krishna Roy, N jyothi, N Lakshmi Prasanthi. Polymers in Drug Delivery Technology, Types of Polymers and Applications. Scholars Academic Journal of Pharmacy (SAJP) Sch. Acad. J. Pharm., 2016; 5 (7): 305-308.

[6] Yang, W. and Pierstorff, E. (2012) Reservoir Based Polymer Drug Delivery Systems. Journal of Laboratory Automation, 17, 50-58.

[7] Sh.Z.Tapdiqov, N.A.Zeynalov, S.F.Humbatova, S.M.Mammedova. Spectroscopic Investigated Interaction between Silver Nanocomposites Based of poly-N-vinylpyrrolidone and Doxorubicine for Drug Delivering//Jornal of Chemistry and Chemical Engineering, 2014, vol.8. p.800-804.

[8] S.Z.Tapdigov. Immobilization of trypsin in polymer gels. Ph.D. Dissertation. Baku, 2011, p. 180.

[9] Sh.Z.Tapdigov, N.A.Zeynalov, D.B.Taghiyev, S.M.Mammedova.Investigation Chemical Interaction type of Polyacrylic acid based Hydrogel with Doxorubicin Hydrochloride, American Chemical Science J, 2016, v.12, p.1-9.
[10] Tapdigov Sh.Z. Polymer carriers based on poly-N-vinylpyrrolidone and arabinogalactan for trypsin immobilization/ Zeynalov, N.A., Ahmadov I.D. [etc.]//Azerbaijan Chemistry Journal, - 2009, 2, - p.39-44.
[11] O.E. Filippova. «Smart» polymer hydrogels. «Nature», No. 8, 2005 No. 8.
[12] Humbatova, S.F.Chitosan Polymer Composite material Containing of Silver Nanoparticle / Shamo Tapdiqov, Nizami Zeynalov [et. al]//Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, - 2016, 11 (1) - p. 39-44.
[13] Tapdiqov, Sh.Z. Optimal Conditions for Graft Radical Copolymerization of N-Vinylpirrolidon and 4-Vinylpiridine into Chitosan / Zeynalov, N.A., Tagiyev, D.B. [et al.]//Chemical Problems, - 2018, Vol.16, No4, - p.505-513.
[14] Mammadova S.M., Tapdigov Sh.Z., Humbatova S.F., Zeynalov N.A., Guliyeva A.R., Gasimov E.M., Research into Sorbtion Properties and Structures of Polymer Hydrogel Immobilized by Doxorubicin//Chemical Problems, 2018, 16 (3), p. 316-322.
[15] Sh.Z.Tapdiqov, N.A.Zeynalov, S.F.Humbatova, J.A.Nagiev, A.Isazadeh, M.Hasanova, S.Safaraliyeva. Content of arabinogalactan from cherry gum (Prunus avium) and as a polymer carrier for immobilization of trypsin//Asian Journal of Chemistry, İndia, 2016, vol.28, No 1, p.189-193.
[16] Manjit & Brahmeshwar Mishra. Natural Polymers for Drugs Delivery. Natural Polymeric Materials based Drug Delivery Systems in Lung Diseases pp 25–59.
[17] Moraru, C.; Mincea, M.M.; Frandes, M.; Timar, B.; Ostafe, V. A Meta-Analysis on Randomised Controlled Clinical Trials Evaluating the Effect of the Dietary Supplement Chitosan on Weight Loss, Lipid Parameters and Blood Pressure. Medicina 2018, 54, 109.
[18] Jiménez-Gómez, C.P.; Cecilia, J.A. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. Molecules 2020, 25, 3981.
[19] Guzmán, E.; Ortega, F.; Rubio, R.G. Chitosan: A Promising Multifunctional Cosmetic Ingredient for Skin and Hair Care. Cosmetics 2022, 9, 99.
[20] Song, E.-H.; Shang, J.; Ratner, D.M. Polysaccharides. In Polymer Science: A Comprehensive Reference; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012; pp. 137–155.
[21] Pramanik, S.; Sali, V. Connecting the Dots in Drug Delivery: A Tour d'horizon of Chitosan-Based Nanocarriers System. Int. J. Biol. Macromol. 2021, 169, 103–121.
[22] Ładniak, A.; Jurak, M.; Palusińska-Szysz, M.; Wiącek, A.E. The Influence of Polysaccharides/TiO2 on the Model Membranes of Dipalmitoylphosphatidylglycerol and Bacterial Lipids. Molecules 2022, 27, 343.
[23] Ways, T.M.M.; Lau, W.M.; Khutoryanskiy, V.V. Chitosan and Its Derivatives for Application in Mucoadhesive Drug Delivery Systems. Polymers 2018, 10, 267.
[24] Hasnain, M.S.; Nayak, A.K. Chitosan as Mucoadhesive Polymer in Drug Delivery. In Chitosan in Drug Delivery; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2022; pp. 225–246.
[25] Elkomy, M.H.; Ali, A.A.; Eid, H.M. Chitosan on the Surface of Nanoparticles for Enhanced Drug Delivery: A Comprehensive Review. J. Control. Release 2022, 351, 923–940.
[26] Cao, S.; Deng, Y.; Zhang, L.; Aleahmad, M. Chitosan Nanoparticles, as Biological Macromolecule-Based Drug Delivery Systems to Improve the Healing Potential of Artificial Neural Guidance Channels: A Review. Int. J. Biol. Macromol. 2022, 201, 569–579.
[27] Karolina Jafernik, Agata Ładniak, Eliza Blicharska, Katarzyna Czarnek, Halina Ekiert, Agnieszka E. Wiącek, Agnieszka Szopa. Chitosan-Based Nanoparticles as Effective Drug Delivery Systems. Molecules 2023, 28 (4), 1963. https://doi.org/10.3390/molecules28041963.
[28] Tousian, B.; Ghasemi, M.H.; Khosravi, A.R. Targeted Chitosan Nanoparticles Embedded into Graphene Oxide Functionalized with Caffeic Acid as a Potential Drug Delivery System: New Insight into Cancer Therapy. Int. J. Biol. Macromol. 2022, 222, 295–304. [Google Scholar], [CrossRef].
[29] Mi, Y.; Chen, Y.; Gu, G.; Miao, Q.; Tan, W.; Li, Q.; Guo, Z. New Synthetic Adriamycin-Incorporated Chitosan Nanoparticles with Enhanced Antioxidant, Antitumor Activities and pH-Sensitive Drug Release. Carbohydr. Polym. 2021, 273, 118623. [Google Scholar], [CrossRef].
[30] Wang, F.; Li, J.; Tang, X.; Huang, K.; Chen, L. Polyelectrolyte Three Layer Nanoparticles of Chitosan/Dextran Sulfate/Chitosan for Dual Drug Delivery. Colloids Surf. B Biointerfaces 2020, 190, 110925. [Google Scholar], [CrossRef], [PubMed].
[31] Rajalakshmi, R.; Sivaselvam, S.; Ponpandian, N. Chitosan Grafted Fe-Doped WO3 Decorated with Gold Nanoparticles for Stimuli-Responsive Drug Delivery Systems. Mater. Lett. 2021, 304, 130664. [Google Scholar], [CrossRef].
[32] Sohail, R.; Abbas, S.R. Evaluation of Amygdalin-Loaded Alginate-Chitosan Nanoparticles as Biocompatible Drug Delivery Carriers for Anticancerous Efficacy. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 153, 36–45. [Google Scholar], [CrossRef].

[33] Chen, X.; Bremner, D.H.; Ye, Y.; Lou, J.; Niu, S.; Zhu, L.M. A Dual-Prodrug Nanoparticle Based on Chitosan Oligosaccharide for Enhanced Tumor-Targeted Drug Delivery. Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 2021, 619, 126512. [Google Scholar], [CrossRef].

[34] Cardoso, V.M.d.O.; Brito, N.A.P.d.; Ferreira, N.N.; Boni, F.I.; Ferreira, L.M.B.; Carvalho, S.G.; Gremião, M.P.D. Design of Mucoadhesive Gellan Gum and Chitosan Nanoparticles Intended for Colon-Specific Delivery of Peptide Drugs. Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 2021, 628, 127321. [Google Scholar], [CrossRef].

[35] Matos, B.N.; Pereira, M.N.; Bravo, M.d.O.; Cunha-Filho, M.; Saldanha-Araújo, F.; Gratieri, T.; Gelfuso, G.M. Chitosan Nanoparticles Loading Oxaliplatin as a Mucoadhesive Topical Treatment of Oral Tumors: Iontophoresis Further Enhances Drug Delivery Ex Vivo. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 154, 1265–1275. [Google Scholar], [CrossRef], [PubMed].

[36] Hassanpour, M.; Jafari, H.; Sharifi, S.; Rezaie, J.; Lighvan, Z.M.; Mahdavinia, G.R.; Gohari, G.; Akbari, A.; Hassanpour, M.; Jafari, H.; et al. Salicylic Acid-Loaded Chitosan Nanoparticles (SA/CTS NPs) for Breast Cancer Targeting: Synthesis, Characterization and Controlled Release Kinetics. J. Mol. Struct. 2021, 1245, 131040. [Google Scholar], [CrossRef].

[37] Liu, Q.; Tan, Z.; Zheng, D.; Qiu, X. PH-Responsive Magnetic Fe3O4/Carboxymethyl Chitosan/Aminated Lignosulfonate Nanoparticles with Uniform Size for Targeted Drug Loading. Int. J. Biol. Macromol. 2023, 225, 1182–1192. [Google Scholar], [CrossRef].

[38] Lohiya, G.; Katti, D.S. Carboxylated Chitosan-Mediated Improved Efficacy of Mesoporous Silica Nanoparticle-Based Targeted Drug Delivery System for Breast Cancer Therapy. Carbohydr. Polym. 2022, 277, 118822. [Google Scholar], [CrossRef].

[39] Chen, Q.; Jia, C.; Xu, Y.; Jiang, Z.; Hu, T.; Li, C.; Cheng, X. Dual-PH Responsive Chitosan Nanoparticles for Improving In Vivo Drugs Delivery and Chemoresistance in Breast Cancer. Carbohydr. Polym. 2022, 290, 119518. [Google Scholar], [CrossRef].

[40] Huang, S.J.; Wang, T.H.; Chou, Y.H.; Wang, H.M.D.; Hsu, T.C.; Yow, J.l.; Tzang, B.S.; Chiang, W.H. Hybrid PEGylated Chitosan/PLGA Nanoparticles Designed as pH-Responsive Vehicles to Promote Intracellular Drug Delivery and Cancer Chemotherapy. Int. J. Biol. Macromol. 2022, 210, 565–578. [Google Scholar], [CrossRef], [PubMed].

[41] Dhavale, R.P.; Dhavale, R.P.; Sahoo, S.C.; Kollu, P.; Jadhav, S.U.; Patil, P.S.; Dongale, T.D.; Chougale, A.D.; Patil, P.B.; Dhavale, R.P.; et al. Chitosan Coated Magnetic Nanoparticles as Carriers of Anticancer Drug Telmisartan: pH-Responsive Controlled Drug Release and Cytotoxicity Studies. J. Phys. Chem. Solids 2021, 148, 109749. [Google Scholar], [CrossRef].

[42] Kesavan, S.; Meena, K.S.; Sharmili, S.A.; Govindarajan, M.; Alharbi, N.S.; Kadaikunnan, S.; Khaled, J.M.; Alobaidi, A.S.; Alanzi, K.F.; Vaseeharan, B. Ulvan Loaded Graphene Oxide Nanoparticle Fabricated with Chitosan and D-Mannose for Targeted Anticancer Drug Delivery. J. Drug Deliv. Sci. Technol. 2021, 65, 102760. [Google Scholar], [CrossRef].

[43] El-Shafai, N.M.; Masoud, M.S.; Ibrahim, M.M.; Ramadan, M.S.; Mersal, G.A.M.; El-Mehasseb, I.M. Drug Delivery of Sofosbuvir Drug Capsulated with the β-Cyclodextrin Basket Loaded on Chitosan Nanoparticle Surface for Anti-Hepatitis C Virus (HCV). Int. J. Biol. Macromol. 2022, 207, 402–413. [Google Scholar], [CrossRef].

[44] Kandile, N.G.; Mohamed, H.M.; Nasr, A.S. Novel Hydrazinocurcumin Derivative Loaded Chitosan, ZnO, and Au Nanoparticles Formulations for Drug Release and Cell Cytotoxicity. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 158, 1216–1226. [Google Scholar], [CrossRef].

[45] Idoudi, S.; Hijji, Y.; Bedhiafi, T.; Korashy, H.M.; Uddin, S.; Merhi, M.; Dermime, S.; Billa, N. A Novel Approach of Encapsulating Curcumin and Succinylated Derivative in Mannosylated-Chitosan Nanoparticles. Carbohydr. Polym. 2022, 297, 120034. [Google Scholar], [CrossRef], [PubMed].

[46] Rostami, E. Progresses in Targeted Drug Delivery Systems Using Chitosan Nanoparticles in Cancer Therapy: A Mini-Review. J. Drug Deliv. Sci. Technol. 2020, 58, 101813.

[47] Tapdigov. Sh.Z. Synthesis of N-Benzyl N-Methyl Chitosan by Simultaneous Alkylation of Formaldehyde and Benzaldehyde: Investigation of Chemical Structure and Composition//Oriental J. of Chemistry, 2020, 36 (2), p.254-261.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 41 No. 4 Feb. 2024, pp. 1305-1311
© 2024 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude de l'effet biocide de l'extrait des feuilles de Caspsicum frutescens L. dans la lutte contre les arthropodes parasites: Cas de *Musca domestica* et des tiques Ixodida à Butembo

[Study of the biocide effect of the extract of the leaves of *Caspsicum frutescens* L. in the fight against arthropod parasites: Case of *Musca domestica* and Ixodida ticks in Butembo]

Muhindo Manzekele, Shangilia Kavatsawa, and Sikivula Robert

Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières (ISEAVF-Butembo), BP 421, Ville de Butembo, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this article is to evaluate the biocidal effect of the extract of the leaves of Capsicum frutescens in the fight against arthropod parasites (case of *Musca domestica* and Ixodida ticks) as well as to appreciate the insecticidal and Ixodicidal effect of this extract.
At the end of this study conducted in Butembo, North Kivu, Democratic Republic of Congo on 480 arthropods including 240 flies and 240 ticks, it was found that the extract of capsicum frutescens leaves has an insecticidal action on flies (96.3%) and acaricide on ticks (84.17%) and overall, 433 arthropods (90.2%) have been killed. The analysis of these results showed that the biocidal effect is more insecticidal and its action is fast (10.06 seconds) while it is less acaricidal and its action is not fast (33 hours). The degree of dilution showed a variation in the biocidal efficacy of the leaf extract of this plant.

KEYWORDS: Biocide, Leaf extract, *Capsicum frutescens,* arthropods, ticks.

RESUME: Cet article a pour objectif d'évaluer l'effet biocide de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* dans la lutte contre les arthropodes parasites (cas de *Musca domestica* et des tiques *Ixodida*) ainsi que d'apprécier l'effet insecticide et Ixodicide de cet extrait.
A l'issue de cette étude menée à Butembo, Nord-Kivu, République Démocratique du Congo sur 480 arthropodes dont 240 mouches et 240 tiques, il s'est avéré que l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* a une action insecticide sur les mouches (96,3%) et acaricide sur les tiques (84,17%) et d'une manière globale, 433 arthropodes soit 90,2%) ont été tué. L'analyse de ces résultats a montré que l'effet biocide est plus insecticide et son action est rapide (10,06 seconde) alors qu'il est moins acaricide et son action n'est pas rapide (33 heures). Le degré de dilution a montré une variation de l'efficacité biocide de l'extrait des feuilles de cette plante.

MOTS-CLEFS: Biocide, Extrait des feuilles, *Capsicum frutescens,* arthropodes, tiques.

1 INTRODUCTION

Les problèmes de santé que connaissent l'homme et les animaux domestiques nécessitent une résolution. De ce fait, il est impérieux de lutter contre tout ce qui compromet cette santé. Parmi les facteurs qui compromettent celle-ci, nous pouvons citer l'absence ou la négligence d'un minimum de précaution sur le plan hygiénique favorisant la multiplicité des pathologies dues aux arthropodes parasites (Boucher et Nouaille, 1996).

Les arthropodes parasites externes (cas des tiques *Ixodida*) sont hématophages; dotés des pièces buccales en forme de stylets, ils sont capables de percer la peau et d'aspirer le sang pour se nourrir (Tobback L., 1951; Troncy *et al.,* 1981 et De Deken, 2000). Du fait de ce comportement alimentaire particulier, ils peuvent transmettre d'un animal à l'autre toute une gamme des microorganismes infectieux (Hunter et al., 2006). D'autres par contre, comme la mouche domestique sont porteurs des bactéries et virus qu'ils déposent partout où ils se posent (Cuisin *et al.,* 1997).

Cependant, la lutte contre ces arthropodes parasites est possible grâce à l'utilisation des produits insecticides et acaricides (Bill F. *et al.,* 2002 et De Deken, 2000). En revanche, les produits insecticides et acaricides synthétiques non seulement coutent chers mais, aussi ils sont toxiques et certains arthropodes y opposent une résistance. Par ailleurs, Fontaine (1987) et Morel (2002) cités par Kaniki (2011) soutenus par Boucher et Nouaille (1996) indiquent que leur utilisation connait plusieurs contraintes en rapport avec la rareté et le coût relativement élève des produits de bonne qualité sur les marchés locaux, l'écotoxicité élevé de la plupart des insecticides et acaricides synthétiques ainsi que leurs accumulations chez l'animal et ses produits dérivés. Ces contraintes suggèrent que dans certains milieux, l'utilisation des extraits des plantes comme méthode alternative pourrait constituer une option dans la lutte contre les arthropodes parasites.

C'est à ce niveau que se pose la question de savoir si face à leur rôle nuisible, les mouches et les tiques ne peuvent pas être contrôlées par l'utilisation de l'extrait des feuilles de *Capsicum frucescens* qui aurait une action biocide contre certains arthropodes.

Face à cette problématique avancée et à partir du moment où l'élevage prend de l'ampleur à Butembo et dans les localités environnantes et que la santé humaine doit être préservée, nous avons proposé les finalités construites sous les formes suivantes.

Les arthropodes constitueraient un réel problème pour les éleveurs et entraveraient la santé humaine; l'extrait des feuilles de la plante *Capsiscum frutescens* aurait des effets insecticides et acaricides et ces effets varieraient selon la dilution utilisée.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les propriétés acaricides et insecticides de l'extrait des feuilles *de Capsiscum frutescens* dans la lutte contre les arthropodes parasites (cas de *Musca domestica)* et des *Ixodida*) et se rendre compte de l'effet insecticide et ixodicide de cet extrait.

La réalisation de ce travail permettra de minimiser les dégâts que causent ces arthropodes en disponibilisant une méthode de lutte simple et accessible à tous recourant à une plante du milieu de Butembo.

2 MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

La présente étude a été menée en ville de Butembo située géographiquement, à l'Est de la République Démocratique du Congo, dans la province du Nord-Kivu. Cette ville se trouve entre 29° 11' et 29°31' de longitude Est et autour de 0°8' de latitude Nord, à 170m d'altitude moyenne. C'est un milieu qui jouit d'un climat équatorial d'altitude ou il pleut presque toute l'année même si on peut noter une alternance de deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches au cours de l'année. Elle est subdivisée en quatre communes à savoir: Bulengera à l'Est, Kimemi à l'Ouest, Vulamba au Nord et Mususa au Sud.

La population de la ville de Butembo est presque homogène, en grande partie du tribut Nande. Elle a l'agriculture comme activité principale à partir de laquelle le commerce et l'élevage ont pris naissance. L'agriculture couvre 50% de la population et s'exerce dans les localités environnantes.

2.2 MATERIEL ET METHODES

2.2.1 LES ANIMAUX

Cette étude a porté sur un effectif total de 480 arthropodes dont 240 mouches et 240 tiques. Ces arthropodes ont été traités par l'extrait des feuilles *de Capsicum frutescens*. Ils appartiennent à deux classes différentes; la mouche domestique à la classe des insectes (VIAL L., 2008) et les tiques à la classe des arachnides (De Deken, 2000).

2.2.2 LA PLANTE

La plante dont l'extrait des feuilles a été utilisé appartient à la Famille des Solanaceae, genre *Capsicum e*t à l'espèce *Capsicum frutescens* (Lejoly *et al.,* 1988). Cette plante est un arbuste cultivé en régions tropicales. Les feuilles sont ovales et les fleurs sont de couleur blanche (Kabangu, 1990).

Les feuilles de la plante ont été récoltées à la main, aux heures matinales dans les jardins de case en ville de Butembo. Aussitôt après la récolte, les feuilles étaient emballées dans un sachet en plastique et pesées. Lors du pesage, une poignée des feuilles donnait 4.2 grammes.

Le piment fort, *Capsicum frutescens* est caractérisé par l'existence de plusieurs variétés se distinguant parleurs formes, leurs couleurs et leurs pouvoirs piquants.

Du point de vu chimique, en plus des composés primaires, le genre *Capsicum* contient divers métabolites secondaires tels que les alcaloïdes sous forme des c*apsaïcidines,* des *capsaïcines,* de la solanine, des saponines et des flavonoïdes avec d'autre composés phénoliques (Materska *et al.,* 2003).

Le tableau ci-dessous présente les différentes substances chimiques qui ont été identifiées dans la plante *Capsicum fratescuns.*

Tableau 1. Substances chimiques isolées de Capsicum frutescens

Composition	Nature du composé	Partie de la plante utilisée
Capsaïcines	Alcaloïdes	Feuilles, fruits
Dihydrocapsaicine	Alcaloïdes	Feuilles, graines arillées, fruits
Saponines	Stéroïdes	Feuilles,graines arillées ,fruits
Capsicosides	Glucosides	Graines arillées, feuilles et fruits
Benzaldehyde de chitosane	Stéroïdes	Fruits et graines arillées
2-déoy-D-glucose	Glucosides	Fruits, feuilles et graines arillées
Quercetine	Flavonoïdes	Graine, arillées et fruits
Lutéoline	Flavonoïdes	Fruits et graines arillées

Source: De Lucca et al., 2002 et Materska et al., 2003

2.2.3 LA COLLECTE DES TIQUES ET MOUCHES

Prélevées à la main sur différents bovins dans le parc d'attente de l'abattoir public de Butembo, les tiques étaient transportées dans des flacons en plastic troués pour la ventilation. Trente tiques au maximum pouvant être gardées dans le flacon pour éviter le confinement pendant chaque phase de récolte. L'expérimentation se faisait le même jour.

Les mouches étaient capturées soit à la main et mises dans des flacons, soit en plaçant une viande à putréfaction au milieu d'une étoffe à trous de moustiquaire sans insecticide. Quarante mouches au maximum pouvant être gardées dans le flacon pour éviter le confinement à chaque phase de collecte. Les trous sur le flacon contenant les mouches étaient trop grands par rapport à ceux du flacon contenant les tiques.

2.2.4 PREPARATION DE L'EXTRAIT DE CAPSICUM FRUTESCENS L

Après la pesée, les feuilles étaient pilées dans un mortier, puis pressées sur un tamis pour en obtenir l'extrait brut non dilué. Cet extrait était recueilli sur récipient en plastique, puis quantifié au moyen d'une seringue et conservé dans un compte-goutte. En une poignée des feuilles de 4,2 grammes, on obtenait 8,58ml en moyenne de l'extrait. Cet extrait était utilisé sous quatre formes, à savoir:

- L'extrait brut que nous avons appelé dilution zéro;
- L'extrait brut dilué dans les proportions de 1 ml de l'extrait dans 1 ml d'eau distillée (dilution 1)
- L'extrait brut dilué dans les proportions de 1ml de l'extrait dans 0,5ml d'eau distillée (dilution 2)
- L'extrait brut dilué dans les proportions de 1ml de l'extrait dans 0,25ml d'eau distillée (dilution n°3)

Chaque dilution avait traité 120 arthropodes repartis en 60 mouches et 60 tiques par dilution.

2.2.5 UTILISATION DE L'EXTRAIT DES FEUILLES DE CAPSICUM FRUTESCENS L

L'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* ainsi préparé était utilisé sur les arthropodes de deux façons. Sur les tiques, tout le fond du flacon était mouillé par des gouttes et d'autres gouttes aspergées sur les tiques selon leur nombre et leur grosseur. Une à deux gouttes était appliquée sur toute la surface corporelle d'une mouche. Aussitôt, le flacon préalablement identifié a été hermétiquement fermé en vue d'empêcher les mouches ou les tiques de s'évader. La durée et le comptage d'arthropodes morts étaient pris en considération pendant l'expérimentation. L'expérimentation a consisté à l'évaluation de l'activité de l'extrait des feuilles de *Capsiccum frutescen* par contact sur les tiques et les mouches.

2.3 ANALYSES STATISTIQUES

Les données obtenues ont été soumises d'une part à l'analyse de la variance (deux facteurs sans répétition de l'expérience) par le test de Fisher-Snédecor (ANOVA) en vue de comparer les moyennes des tiques et des mouches mortes par l'extraits *dilué de Capsicum frutescens,* au calcul du test Z et d'autre part, au test T tel qu'indique Leroy et Farmir (2001).

3 RESULTATS

Au terme de notre expérimentation, 480 arthropodes dont 240 mouches et 240 tiques ont été capturées et exposées à l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens*. Sur 240 mouches exposées à l'extrait des feuilles de la plante, 231 sujets sont morts contre 202 tiques tuées sur 240 exposées au même extrait. Dans tous les cas, l'extrait des feuilles a eu un effet biocide contre tous les arthropodes traités.

Les résultats relatifs aux différents paramètres pris en considération sont présentés dans les tableaux 2,3 et 4 ci-dessous.

Tableau 2. ***Efficacité insecticide et /ou acaricide de l'extrait des feuilles de Capsicum frutescens contre les mouches et les tiques***

Arthropodes	***Morts***	***Survivants***	***Total***
Mouches	231(96,25%)	9(3,75%)	240
Tiques	202(84,17%)	38(15,83%)	240
Total	433(90,2%)	47(9,8%)	480
Moyenne	216,5	23,5	
Ecart type	20,5	20,5	
CV	9,46	87,2	
Somme de moyennes	1,32	1,32	

Le tableau 2 présente l'efficacité insecticide et ou acaricide de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* contre les mouches et les tiques. Il montre sur 480 arthropodes exposés à l'extrait de cette plante, 433 (90,2%) sont morts dont 231 (96,25%) mouches et 202 (84,17%) tiques. Aussi 216,5 20,5 arthropodes en moyenne ont été tué contre une moyenne de 23,5% 20,5 arthropodes qui ont survécus. En observant les pourcentages de 96,25% et 84,17%, on peut penser que l'extrait des feuilles de la plante a été plus efficace contre les mouches que contre les tiques. Ces résultats soumis au teste Z ont montré que la différence est significative (Z= 4,4 1,96; p= 0,05) entre le pourcentage des mouches mortes (96,25%) et celui des tiques mortes (84,17%) de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens*

Tableau 3. ***Efficacité biocide de l'extrait des feuilles de Capsicum frutescens contre les arthropodes (les mouches et les tiques) selon la dilution utilisée***

Dilution / **Arthropodes**	**Effectif traité**	**Dilution 0**	**Dilution 1**	**Dilution 2**	**Dilution 3**	**Total**
Effectif traité		120	120	120	120	480
Mouches	240	60/60	54/60	57/60	60/60	231(96,25%)
Tiques	240	56/60	44/60	44/60	58/60	202(84,17%)
Total	480	116	98	101	118	
$\bar{X}$		58	49	50,5	59	
S		2,82	7,07	9,19	59	
CV		4,86	14,42	18,19	2,37	
		0,25	0,64	0,83	0,12	

Le tableau3 présente l'efficacité biocide de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* contre les arthropodes à 4 dilutions différentes à savoir; l'extrait brut, 1ml d'extrait brut dans 1ml d'eau distillée, 1ml d'extrait brut dans 0,5ml d'eau distillée et 1ml d'extrait brut dans 0,25ml d'eau distillée. Il montre que sur 120 arthropodes exposés à chaque dilution, la dilution zéro a tué en moyenne582,82arthropodes contre les moyennes 49 7,07; 50,59,19 et 591,4 arthropodes tués respectivement par la dilution 1, 2 et 3. L'analyse de la variance montre que ces moyennes sont significativement différentes [F_{obs}85,5Fth0,052,62; ddl (3,476)], c'est-à-dire que le nombre d'arthropodes tués est fonction de la dilution de l'extrait.

En général, l'efficacité biocide augmente quand le taux de dilution diminue et l'extrait des feuilles utilisé semble plus efficace respectivement aux dilutions 3, zéro et 2 et diminue à la dilution 1.

Tableau 4. Durée d'action biocide en secondes d'exposition de l'extrait des feuilles de Capsicum frutescens pour obtenir la mort de l'arthropode

SECONDES	N°	Arthropodes	
		Mouches	Tiques
	1	2	79200
	2	3	86400
	3	4	90000
	4	5	100800
	5	6	104400
	6	7	108000
	7	8	115200
	8	10	118800
	9	11	122400
	10	12	129600
	11	13	136800
	12	14	140400
	13	15	158400
	14	16	172800
	15	17	0
	16	18	0
	Total	161	1663200
	$\bar{X}$	10,06	118800
	_	20,17	27050,72
	CV	200,49	22,76

Le tableau 4 présente la durée d'exposition nécessaire pour obtenir la mort de l'arthropode par l'extrait des feuilles de la plante *Capsicum frutescens*. D'une manière globale, il montre que cet extrait exige en moyenne 10,06 secondes soit 0,0028 heures pour tuer une mouche alors que pour tuer une tique, l'extrait exige 118800 secondes soit 33heures. En analysant le même tableau, on se rend compte que l'action létale de *Capsicum frutescens* ne commence qu'à partir de 22 heures pour la tique pendant que pour la mouche elle débute déjà à moins d'une minute.

La différence entre les deux moyennes, celle des mouches et celle des tiques est très significative (t_{obs}7,752th$_{0,05}$1,7; ddl28).

Ce résultat montre que, si l'on ne considère que le paramètre temps, l'extrait des feuilles de cette plante rendrait des grands services et contiendrait une substance toxique très violente pour les insectes (mouches) et même pour les acariens (Tiques).

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus à l'issue de la présente étude révèlent que le principe actif contenu dans l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* est plus insecticide qu'acaricide (tableau2). En effet, sur 480 arthropodes exposés à l'extrait de feuilles de cette plante, 433 (90,2%) sont morts dont 231 (96,25%) mouches et 202 (84,17%) tiques. Cette inégalité de taux d'arthropodes tués serait due au fait que l'extrait des feuilles de cette plante aurait un mécanisme d'action biocide différente chez les arthropodes traités; la mouche domestique étant un insecte (De Deken, 200) et la tique étant d'origine *acarienne (*VIAL L. 2008). L'analyse statistique de ce résultat a montré que la différence est significative (z4,41,96; p0,05) entre le pourcentage des mouches mortes (96,25%) et celui des tiques mortes (84,17) de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens*. Cette différence de pourcentage d'arthropodes tués serait liée à la masse moléculaire élevée des substances chimiques isolées de *Capsicum frutescens* telles que la Capsaïcidine, solanine, capsaïcine, saponines, flavonoïdes (De Lucca et al., 2002. Materska M. et al., 2003) empêchant ces composés de traverser l'épicuticule de la tique. Ces résultats soutiennent Hunter A *et al,* (2006) qui disent que ce sont les mêmes présentations des produits qui sont utilisés contre les tiques et les insectes.

De plus, De Deken (2003) stipule que pour être efficace, un insecticide de contact doit être lipophile pour pénétrer l'épicuticule hydrophobe et riche en graisse. De toutes les façons, il y a lieu de dire que l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* a un principe actif lipophile malgré la petite différence observée dans son efficacité contre les arthropodes.

Les insectes, même appartenant aux mêmes espèces, indiquent Bill F. et Meyer C., (2002) présentent des réactions physiologiques différentes quand ils sont exposés à une substance insecticide identique. Ils ajoutent que ceci intervient dans l'explication de l'apparition de la chimiorésistance chez certaines faces à certains insecticides.

Le nombre d'insectes tués ne s'écarte pas de celui trouvé par Mahuka M. (2008) de l'extrait des feuilles de cette même plante dans la lutte contre *Blattula germanica* à Butembo. Les résultats de cet auteur renseignent que sur 120 insectes soumis au contact de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens,* 112 soit 93,3%) insectes ont été tués. Ce même résultat est en accord avec celui de Neema K. (2009) qui a essayé l'extrait des feuilles de cette plante sur la gale causée par les acariens chez les lapins élevés en ville de Butembo. Son expérimentation a montré que sur un effectif de 70 lapins galeux traités par l'extrait des feuilles de *Capsicum frutenscens,* 60 cas soit 85,7%) des guérisons avaient été enregistrés.

Par rapport aux résultats du tableau3, nous avons constaté que l'efficacité biocide de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* augmentait quand le taux de dilution diminuait. En effet, quand on analyse l'intérieur de ce tableau, on trouve que l'efficacité biocide de l'extrait des feuilles de cette plante est acceptable pour les dilutions zéro, 2, 3 et diminue à la dilution 1. Ces différences d'efficacité biocide de l'extrait des feuilles de cette plante peuvent être liées non seulement à la différence des taux de dilution mais aussi, selon Materska M.et al. (2003), à la nature chimique du principe actif et sa teneur en alcaloïdes, saponines et flavonoïdes dans la partie de la plante utilisée.

C'est à ce titre que Good *et al.* (1975) indiquent que les substances chimiques en général se comportent de différentes manières une fois mélangées à l'eau.

L'action létale de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* ne commence qu'à partir de 22 heures pour la tique pendant que pour la mouche elle débute déjà à moins d'une minute (Tableau3). L'analyse statistique de ce résultat montre que la différence entre les deux moyennes, celle des mouches et celle des tiques est très significative (t_{obs} 7,752 $th_{0,05}$1,7; ddl28). Cette différence mathématique peut confirmer l'effet toxique élevé de *Capsicum frutescens* contre les mouches démontré dans le tableau 2 et la différence qu'il y aurait entre un insecte et un acarien.

Cependant, le résultat de cette étude semble d'accord de la théorie selon laquelle les alcaloïdes (capsaïcine et la dihydrocapsaicine), les saponines (capsicoside E_1, F_2, G_5, le Benzaldehyde chitosane et 2- déoxy-D-glucose), les flavonoïdes (quercitine et lutéoline); composés chimiques isolés de capsicum frutescens agissent selon Materska M. et al. (2003) et De Lucca A.J et al., (2002) dans le blocage de la chaine respiratoire de l'insecte (oxydation d'un NADH en ATP) suivit d'un effet **« Knock Down »** qui est lié à la dépolarisation des centres nerveux et à la l'apparition des décharges successives. L'empoissonnement est un processus très lent et se manifeste par l'inactivité, l'instabilité locomotrice, le refus à manger, la paralysie et la mort lente; ont-ils ajoutés.

5 CONCLUSION

Une étude de l'effet biocide de l'extrait des feuilles de *Capsicum frutescens* a été menée en ville de Butembo sur 480 arthropodes dont 240 mouches et 240 tiques. L'extrait brut des feuilles de cette plante a été utilisé après dilution à100%, 50% et 25%.

Les résultats obtenus ont permis de conclure en ces termes:

- L'extrait obtenu des feuilles *de Capsicum frutescens* a montré une action insecticide et acaricide respectivement contre les mouches et le Tiques.
- Les feuilles de cette plante fournissent un extrait dont l'action insecticide est plus efficace contre les mouches et le niveau létal débute à deux secondes. Par contre, l'action acaricide contre les tiques *Ixodida* et le niveau létal débute 22 heures après le début de l'exposition.
- L'efficacité de l'extrait obtenu des feuilles de *Capsicum frutescen*s augmente quand le taux de dilution diminues.

Toutes fois, non seulement la sensibilisation de la population par les vétérinaires et les agronomes sur la multiplication et l'utilisation de cette plante est une phase impérieuse pour mettre leur disponibilité et la lutte contre les arthropodes parasites mais aussi, l'utilisation de l'extrait des feuilles de cette plante contre les tiques et les mouches en utilisant un appât comme le sucre ou dans fèces contre les larves.

REFERENCES

[1] BILL F. et MEYER C., 2002: Que faire sans vétérinaire, CIRAD, CTA, Karthala, Paris, 432 p.

[2] BOUCHER S. et NOUAILLE R, 1996: Manuel pratique des maladies du lapin, éd. France Agricole, Paris 256 p.

[3] CUISIN M., DARBOIS M, DEPOUTOT M-C., GARDIN N, GUEDES M, et HERBULOT F., 1977: Le monde et la nature, l'univers en couleur, Larousse, Paris, 246p.

[4] De DEKEN, 2000: Entomologie vétérinaire et contrôle des vecteurs. Instittut tropicale, Nationalistraat antwerpen, Belgique, 192p.

[5] De LUCCA AJ., CUSHION M. et BLAND JM., 2002: cay- La fungicidal saponin from capsicum sp.fruit.Med. Mycol 40 (2), Mexico, p 131-131.

[6] FONTAINE M., 1987: Vade Mecum du vétérinaire, éd.Vigot, Paris, 1988 p.

[7] GOOD MANL S., GILMAN A.et KOELLE G.B, 1975: The pharmacological basis of therapeutis. Fifith, éd. Macmillan, New York, 1704p.

[8] HUNTER A., VILEMBERG G. et MAYER C., 2006: la Santé animale, Volume II: Principales maladies, éd. Karthala, Paris, 310 p.

[9] KAMBU KABANGU, 1990: Apport des plantes médicinales africaines à la thérapeutique moderne, Kinshasa, 138 p.

[10] KANIKI M R., 2011: Evaluation des propriétés acaricides de l'extrait des feuilles de *Tephosia Vogelii* Hook contre la tique *Rhipicephalus appendiculatus* (Acari: Ixididea) parasite des bovins élevés dans la ville de Butembo, Province du Nord-Kivu, République Démocratique du Congo, Mémoire inédit, UCG/ Butembo, 46 p.

[11] LEJOLY, LISAUSHI S. et NJELEM, 1988: Systématiques des plantes, cours inédit, Université de Kisangani, 180 pp.

[12] LEROY P., FARNIR F., 2001: Méthodes statistiques en médecine vétérinaire, Edition de l'université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Bruxelles, 271 p.

[13] MAHUKA K., 2008: Essai comparatif de l'extrait des feuilles des plantes *Tagetes minutifolia* et *Capsicum frutescens* dans la lutte contre *Blattula germanila,* TFC, inédit, ISEAVF/ Butembo, 26pp.

[14] MATERSKA M., PIACENTEB S., STOCHMALE A., et PERUKA A., 2003: Insolation and structure elucidation of flavonoid and phenolic acid glycosides from percarp of hot pepper fruit capsicum of hot fruit *Capsicum annuum* L., Phytochemestry 63 (8), RIO p 893-898.

[15] NEEMA K J., 2009: Eude comparative de l'effet antipaleux de l'extrait des Feuilles de *Capsicum frutescens* et *Tagetes minutiflora* chez les Lapins en ville de Butembo, TFC, inédit; ISEAVF/ Bute, bo 31pp.

[16] TOBBACK L., 1951: Les maladies du bétail du Congo Belge. 2eme édition, ministère des colonies, Place Royale, Bruxelles, 519p.

[17] TRONCY P M., et ITARD J., 1981, Précis de parasitologie vétérinaire tropicale, Ministère de la coopération et du développement, France, Paris, 717p.