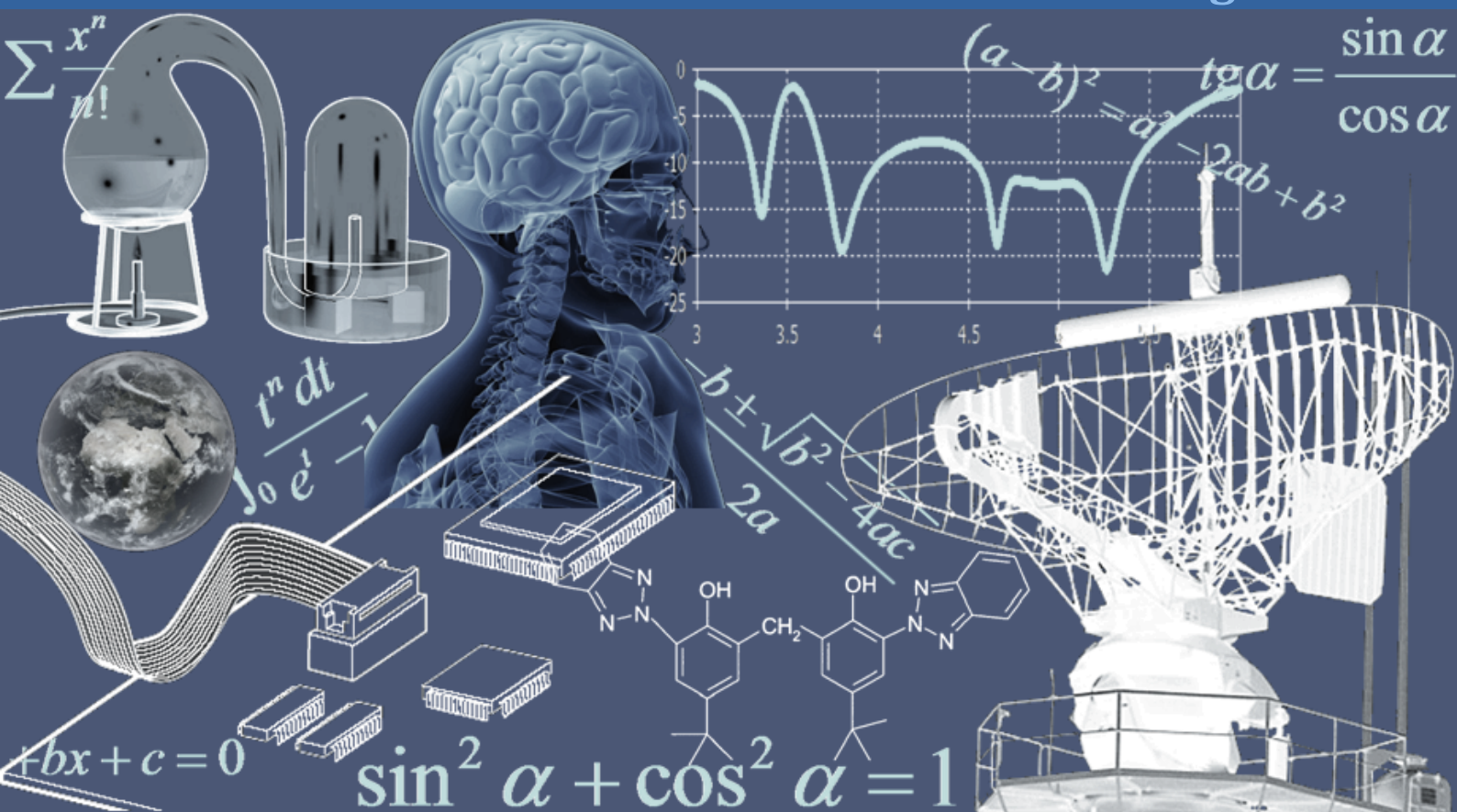


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 33 N. 3 August 2021



International Peer Reviewed Monthly Journal



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 Pharmaceuticals, 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 Kavrouidakis, 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 Bumerdes, 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

International trends in intellectual property on extraction methods and technological applications of coffee oil	452-463
<i><u>Julio Page, Carolina Vieira Viêgas, Lília Calheiros de Oliveira Barretto, and Suely Pereira Freitas</u></i>	
Entrepreneurial Project-based Education through E-Learning among Employed College Students	464-470
<i><u>Evi Thelia Sari, Maria Rochelle G. Divinagracia, and Parwita Setya Wardhani</u></i>	
La qualité de recrutement dans les entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie en Afrique centrale : Un levier pour le développement durable au Cameroun ?	471-481
<i><u>Ngnepi Nana Stéphanie Reine, Douanla Jean, and Essomme Innocent</u></i>	
Contribution à la sécurité alimentaire et à la nutrition: Utilisation du four amélioré (Thiaroye) dans la réduction de la teneur en HAP de deux espèces de poissons (thon et mâchoiron) fumés en Côte d'Ivoire	482-490
<i><u>Aissatou Coulibaly, Djakalia Bouatené, Oula Djibril Traoré, Sory Karim Traoré, and N'Guessan Georges Amani</u></i>	
Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG) : Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun)	491-501
<i><u>Adama Amaya, Mama Ntoubé, Amadou Kepnamou Diguim, and Elvis Kah</u></i>	
Impact de la diversification des exportations sur la croissance économique: Cas de la Tunisie	502-514
<i><u>Mounir Dahmani</u></i>	
The constituents of beauty in the interior design and the human health	515-521
<i><u>Amany Mashour Hendy</u></i>	
Effect of soil amendment with <i>Trichoderma harzianum</i> and <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> bioformulation on biochemical parameters and antioxidant activity in <i>Abelmoschus esculentus</i>	522-535
<i><u>Zoa Parfait Alexis, Fotso, Tene Tayo Martial, and Djocgoue Pierre-François</u></i>	
Impact of hypothyroidism on pregnancy	536-540
<i><u>R. Watfeh, Karima Matar, K. Tamim, M. Youssfi, and Samir Bargach</u></i>	
Diversité et distribution des moyens et grands mammifères des presqu'îles PK28 et Apollinaire du nord du Parc National Taï, Côte d'Ivoire	541-550
<i><u>Célestin Yao Kouakou, Cleoun Joel N'gorand, André Djaha Koffi, Roger Malé Kely, Antoine Kouamé N'guessan, Abdoulaye Diarrassouba, Adama Tondossama, and Jean-claude Koffi Béné</u></i>	
Stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi	551-564
<i><u>Benjamin Makashi Bope</u></i>	
Tendance des émissions anthropiques des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et de leurs substituts au Togo de 1995-2018	565-578
<i><u>Ayassou Koffi, Kokou SABI, and Koriko Moursalou</u></i>	
Grossesse cornuane, entre traitement médical et chirurgical : Une entité rare de grossesse extra-utérine (A propos de deux cas)	579-584
<i><u>K. El Matar, R. Watfeh, K. Tamim, Samir Bargach, M. Elyousfi, A. Drissi Mniani, L. Chat, and N. Allali</u></i>	
Perceptions du changement climatique et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs de la région du lac Tumba de la République Démocratique du Congo	585-595
<i><u>Benjamin L. Mandjo and Patrick A. Dande</u></i>	
Repérage, géolocalisation et caractérisation des sites de rejets des scories et boues des fonderies (SBF) qui recyclent la mitraille à Kinshasa : RDC	596-617
<i><u>Joseph M. Kakundika, Dieudonné E. Musibono, Virima Mudogo, and Ndongala Lufimpadio</u></i>	

International trends in intellectual property on extraction methods and technological applications of coffee oil

Julio Page^{1,2}, Carolina Vieira Viêgas², Lília Calheiros de Oliveira Barretto³, and Suely Pereira Freitas²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Duque de Caxias, Brazil

²Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brazil

³Núcleo de Graduação em Agroindústria, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus Sertão, Brazil

Copyright © 2021 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 aimed to present the current scenario of technological innovation involved in extraction and applications of coffee oil through patents listed in Derwent Innovations Index and INPI platform. Keywords combinations such as (i) «coffee oil» AND «extraction»; (ii) «coffee oil» AND «aroma» (iii) «coffee oil» AND «microencapsulation», (iv) «spent coffee grounds» AND «coffee oil» and (v) «coffee oil» AND «spray drying» were used as search terms on Derwent's database, which resulted in 62 patents. Of those 62 patents, 80 % of them were classified as A23 – (food products and their processing, coffee aroma; coffee oil, etc.), 31% were granted in the years between 2014 and 2016, of which USA leads with 27.9% and 70 % of the patents. In both cases, the supercritical CO₂ technique was applied to oil extraction. Nestec S.A., a subsidiary of NESTLÉ, at 14.5 %, holds the majority of active patents. Of the patents analyzed on the INPI platform (the same Keywords combinations are used, except in portuguese), the most uses of coffee oil were related to the production of instant coffee, pharmaceutical manipulations and polymer matrices. Pressing was the extraction method that represented 54 % of the 12 patents found. The main classification was C11B with 52 % of patents. Microencapsulation technique to preserve aroma and bioactive compounds has been used in some of patents. This topic proved to be promising in terms of commercial exploitation due to its efficiency in preserving compounds from vegetable oils. The national industry and the academic community must be attentive to the coffee sector that influences the Brazilian economy, observing opportunities for development and technological innovation.

KEYWORDS: Coffee oil, extraction, intellectual property, microencapsulation, spray drying.

1 BACKGROUND

Coffee is the world's leading commodity amongst agricultural products. Brazil is by far the largest producer and exporter of coffee beans and accounted for 36 % of the world's production [1]. In 2018, Brazil produced 61.65 million bags (of 60 Kg) of coffee, an increase of 37.1 % compared to 2017, of which the country exported 35.2 million bags, reaching 5.09 billion dollars with an average price of US\$ 144.53 per bag [1]. Furthermore, Brazil is the second largest coffee consumer on the planet, surpassed only by United States [2]. The coffee produced and consumed both domestically and abroad generates a high income, also results in generation of Spent Coffee Grounds (SCG), an important by-product of the agribusiness. It is estimated that in 2020, the coffee produced in Brazil will achieve about 2.4 million tons of SCG, considering that processing of one ton of coffee generates approximately 650 kg of SCG [2].

SCG consists of proteins, carbohydrates, ashes, pigments, fibers, lipids and also unsaponifiable matter, which has high concentration of important bioactive compounds with antioxidant, antimicrobial, anti-allergenic, anti-atherogenic, anti-inflammatory and anti-thrombotic properties [3], [4]. The presence of these compounds, which have beneficial effects on human health, makes spent coffee grounds a potential source of natural antioxidants and has motivated several studies [4], [5], [6], [7], [8] and [9]. Since it contains approximately 20 % of lipids, coffee beans has attracted greater attention in the world market, due to the wide application of coffee lipids in the food and cosmetics formulations.

Considering the volatile profile identified in the lipid fraction of roasted coffee oil, it is potentially applicable in the food industry as a flavor enhancer due to its pronounced aroma [4], [10], [11]. The lipid fraction of coffee has approximately, 75 % triglycerides and up to 19 % of unsaponifiable matter. This last fraction is composed mainly of terpenic esters, tocopherols and sterols, in addition to polar waxes and lipids [12]. The main fatty acids described by Folstar et al. (1985) [13] for coffee oil of the species *Coffea arabica* are linoleic acid (41.2 to 42.6 %), palmitic acid (35.2 to 36.7 %), oleic acid (9.5 to 11.9 %), stearic acid (7.2 to 9.7 %), linolenic acid (1.3 to 2.7 %) and arachidonic acid (0.3 to 1.5 %). Roasted coffee oil has a peculiar aroma and nutraceutical properties, its use in food depends not only on its chemical characteristic but also on its physical properties.

Coffee oil can be obtained from green, roasted beans or SCG through classical mechanical process (pressing) or chemical process (solvent extraction) [14]. Regardless of the method used, the lipid extracts obtained contain volatile substances (characteristics of the aroma), phenolic compounds which exhibit remarkable antioxidant properties and substances with anti-ultraviolet activity [19]. Technological changes in the edible oil extracted are mainly aimed at stabilizing bioactive and volatile compound, which are essential to guarantee the use of coffee oil as an ingredient for several expanding sectors [15]. Furthermore, various environmental factors have adverse effects on the stability of micro bioactive compounds and fatty acids present in the coffee oil, hence the microencapsulation of coffee oil has been evaluated by many researchers as one of the techniques that offers protection against oxidation from external factors such as heat, humidity and light [15], [16].

The protective activity of the wall materials used in the microencapsulation process reveals the potential application of this technique to preserve the volatile compounds of coffee oil, increasing the useful life, especially the aromatic compounds [16]. The use of agro-industrial by-products, in particular SCG, as a source of edible oil and other compounds such as phenolics, diterpenes, sterols, among others, in addition to substances characteristic of the aroma, arouses scientific interest, due to the availability and potential of this residue. In this context, the objective of this work was to identify the main international trends in the process of extraction and use of coffee oil with a view to its use in the food and pharmaceutical industry through an analysis of deposited patents.

2 MATERIAL AND METHODS

The technological research was carried out from April to July 2019 between 1963 and 2019. This period was therefore taken into account to evaluate the patents listed in the Derwent Innovations Index® (Clarivate) and National Institute of Intellectual Property Office (INPI, acronym in portuguese) databases. The following keyword combinations were used in the topic field of the databases: (i) "coffee oil" AND "extraction"; (ii) "coffee oil" AND "aroma" (iii) "coffee oil" AND "microencapsulation", (iv) "spent coffee grounds" AND "coffee oil" and (v) "coffee oil" AND "spray drying". English keyword combinations were used on the Derwent's database, while the equivalent Portuguese keywords were used to search for patents listed at the INPI database. Results with the aforementioned keywords present in the patent's title and/or in the abstract were considered for analysis. The patent documents found were collected, treated and analyzed for information about the technological survey. Those international classification codes were considered significant for this work, which presented a quantity above 5% of representativeness. It is to be noted that, the search priority was not given to the patents that are within the secrecy period of eighteen months, i.e. only the already published patents considered. The research focuses on the collection of data about the main extraction techniques and applications of extracted oil from green or roasted coffee. Bibliometric treatment was performed on the collected data by Microsoft® Excel software version 2010, according to year of application, applicants (companies, institutions or individuals), areas of knowledge, countries of origin and codes of the International Patent Classification (IPC).

3 RESULTS AND DISCUSSION

The search on the Derwent Innovations Index platform resulted in a total of 67 patents referring to the technologies associated with the product of interest (Figure 1).

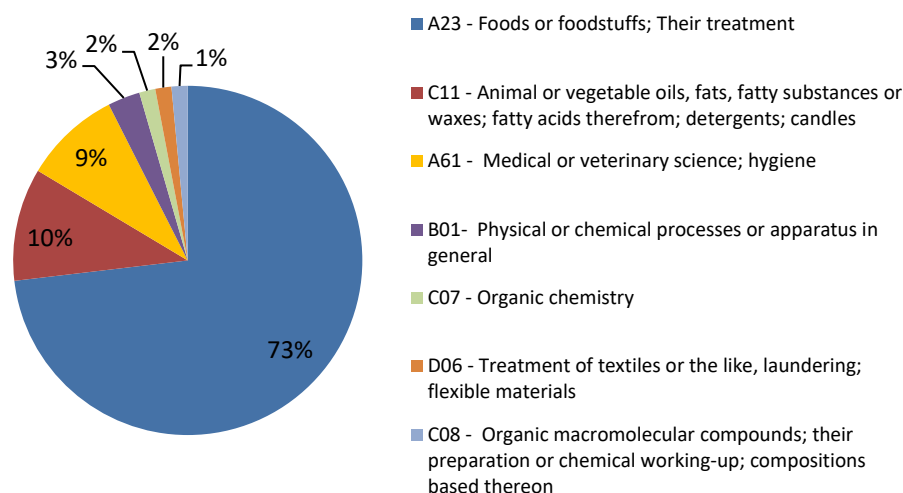


Fig. 1. Distribution of patent according to IPC codes

Coffee oil has been gaining popularity in the world market, since it has substances that meet the industry's demand for natural compounds. Amongst the patents analyzed, several applications of coffee oil were observed, highlighting its use for flavoring beverages [17]. In addition to that, other applications have been observed, such as the production of polyol from the epoxidation reaction for producing polyurethane fibers, extraction of bioactive compounds such as chlorogenic acid and kahweol [18], besides compounds with anti-ultraviolet activity (anti-UV) [19] for cosmetics formulating and also microencapsulation of volatile compounds [20].

In this work, as a first step, the patent applications were organized according to the International Classification. In the the filtered classifications are shown, which takes into account of the section and its class. This division followed the provisions of the IPC's, as established in the Strasbourg Agreement, in 1971, with last update on 12/21/2012. After this classification, a selection was applied for the data collection directed to this work for patent applications involved with the theme of "main uses and technologies for extracting coffee oil".

The following patent sections were excluded: physical or chemical products or devices in general (B01), organic chemistry (C07), organic macromolecular compounds (C08) and treatment of textile products, instrumentation (D06), as they represented less than 5 % of patents analyzed and did not fit the objectives of the mapping carried out. After the re-classification, 62 patents were considered for analysis, with codes belonging to the sections A23F, A23L, A61K and C11B for this work (Figure 2).

According to Figure 2, most patents were classified in the class A23F, which represents 70 % of the documents analyzed, in the area of food products like coffee, tea, their manufacturing, processing, physical treatment and conservation. The second class with the highest number of patents was C11B, representing 11 % of production, which comprises of raw material extraction from waste substances, refining or preserving oils, fatty substances such as lanolin, fatty oils or waxes, essential oils, perfumes (drying oils) and production of oils or fats from various raw materials. The code A61K focuses patents on preparations for pharmaceutical products and A23L on the methods of preparation, modification, preservation of food products and soft drinks, both codes constitute 6 % of the total patents analyzed. From the initial analysis of the patent classes, it shows a clear trend in the application of raw materials with sensory and bioactive properties in the food and cosmetics industries.

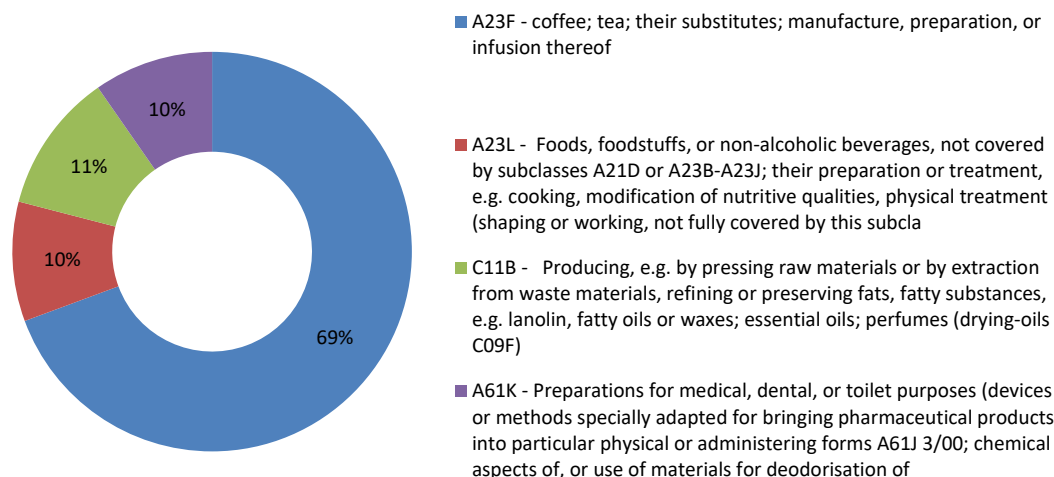


Fig. 2. Most prominent IPC codes in the survey carried out on the Derwent base

Since majority of patents were categorized under IPC A23F, the subdivisions within this class were analyzed (Figure 3). Out of 43 patents under classification A23F, the code A23F-005/46 represented 21 % of the patents researched and it presents by definition works with coffee aroma, coffee oil, flavoring of coffee or coffee extract synthetic coffee flavorings. Code A23F-005/48 - Isolation of coffee flavoring or coffee oil - represented 19 % of patents, followed by code A23F-005/40 - Coffee infusion, aroma extracts of coffee or coffee oil - with 9 % of the patents under the A23F classification.

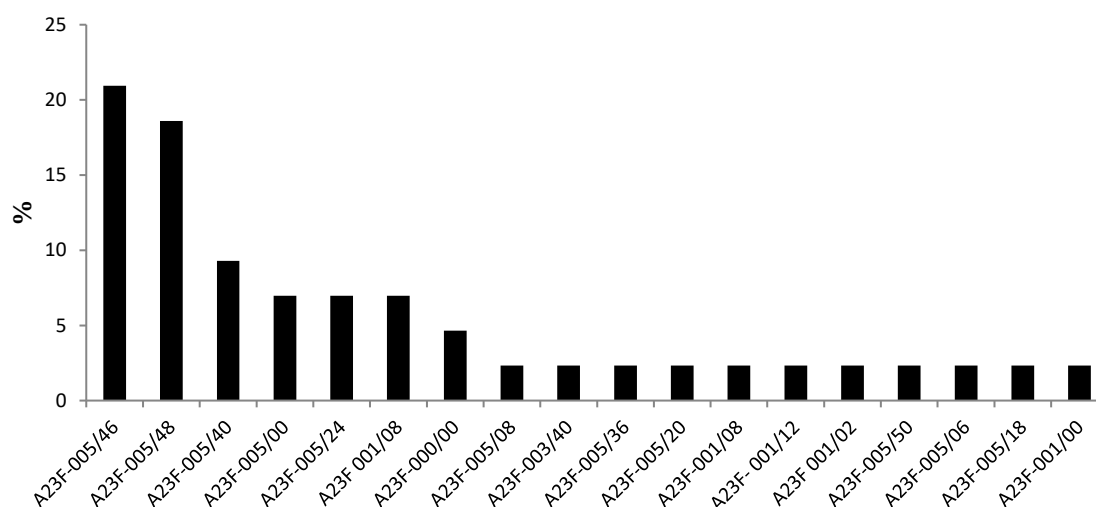


Fig. 3. Main codes of International Patent Classification with filter in A23F

A23- FOODS OR FOODSTUFFS; THEIR TREATMENT, NOT COVERED BY OTHER CLASSES; A23F- COFFEE; TEA; THEIR SUBSTITUTES; MANUFACTURE, PREPARATION, OR INFUSION THEREOF; A23F- 005 - Coffee; Coffee substitutes; Preparations A23F 005/46 - Coffee flavour; Coffee oil; Flavouring of coffee or coffee extract (synthetic coffee flavours A23L 27/28); -A23F 005/48- Isolation of coffee flavour or coffee oil; A23F-005/40 - using organic additives, e.g. milk, sugar; A23F-005/00- Coffee; Coffee substitutes; Preparations thereof; Extraction of coffee (isolation of coffee flavour or coffee oil A23F 5/48); Coffee extracts (with reduced alkaloid content A23F 5/20); A23F-005/24- Making instant coffee (methods of roasting extracted coffee A23F 5/06); A23F 001/08; A23F-000/00; A23F-005/08- Methods of grinding coffee (coffee mills A47J 42/00); A23F-003/40- Tea flavour; Tea oil; Flavouring of tea or tea extract (synthetic tea flavours A23L 27/20); A23F-005/36- Further treatment of dried coffee extract; Preparations produced thereby, e.g. instant coffee (removing unwanted substances A23F 5/18; flavouring A23F 5/46); A23F-005/20 - Reducing or removing alkaloid content; Preparations produced thereby; Extracts or infusions thereof; A23F-001/08; A23F-001/08; A23F- 001/12; A23F 001/02; A23F-005/50 - from coffee extract; A23F-005/06- Treating tea before extraction (reducing or removing alkaloid content A23F 3/36); A23F-005/06- Preparations produced thereby (tea extract preparations A23F 3/16); A23F-005/18 - from coffee extract; A23F-001/00.

The annual evolution of patent filings related to coffee oil, in the different industrial sectors (extraction, application in food and cosmetics) between the years 1970 and 2019 is shown in The period between 2014 and 2016 had maximum number of patents filed (31 %) of all existing patents in the Derwent Innovations Index database, considering the keywords applied in this research.

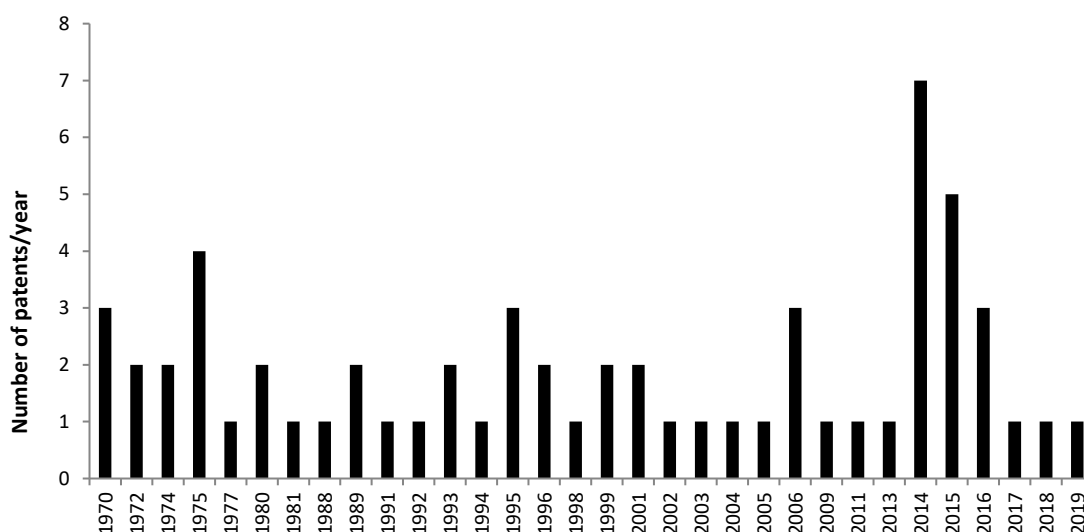


Fig. 4. Evolution of patent filings between 1970 and 2019 in the Derwent database

Among the 62 patents considered, the main countries with patent applications can be seen in The United States leads with 17 patents (27.9 %), followed by Japan with 13 (21 %). 8.2 % (5 requests) were applied by European countries through EP- European Patent Office.

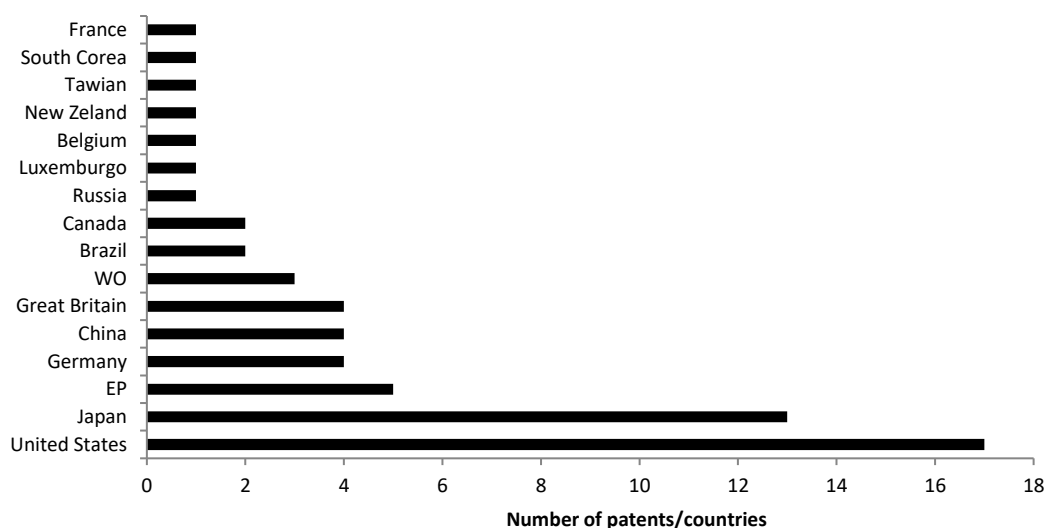


Fig. 5. Number of granted patents/countries listed in the Derwent database

In order to obtain coffee oil rich in chemically active components, the extraction method plays a crucial role in the process. Therefore, patents were assessed for the method of extraction and selection of the solvent used in the case of chemical extraction. For the purpose of recovering coffee oil, amongst the patents analyzed the main technologies involved were mechanical pressing, supercritical fluid with CO₂, use of volatile solvents (mainly with hydrocarbons such as heptane, ethanol, acetone, ethyl acetate, chloroform and ether of oil) and ultrasonic waves. It is worth noting that 70 % of the patents refer to the use of supercritical CO₂ as extraction technique. Some works used the combination of two or more techniques.

The patent, CN107674758-A – “Extraction of coffee oil by ultrasonic subcritical fluid extraction involves extracting of dried coffee using solvent, ethanol in general, under preset conditions, removing the solvent and residue using thin-film evaporator” [21], describes the extraction technique of coffee oil from SCG, using fossil solvents, supercritical fluid and ultrasonic waves. The solvents used were liquid propane, butane, isobutene and dimethyl ether. This combination of techniques enabled the effective and complete extraction of the active components of coffee, with satisfactory yield. The solvent can be recycled efficiently, thereby reducing solvent loss and operating costs. The product obtained did not contain solvent residue and can be used without restrictions in the food and cosmetic industries.

Even though ethanol, produced from biomass, with a lower toxicity as compared with fossil solvents, only one patent addressed this as a solvent to obtain coffee oil [22]. The interest in ethanol as solvent in the extraction processes is due to the fact of recovering an extract more rich in phenolic, terpenes and aromatic compounds, generating a fraction rich in natural antioxidants from a more sustainable technology [4], [23]. In addition to oil extraction, the supercritical fluid with CO₂ technique has also been patented for extracting aromas present in coffee oil and incorporation into other vegetable oils [24]. The microencapsulation of vegetable oils is observed as a worldwide trend in the preservation of aromatic and bioactive compounds (16).

Microencapsulation of coffee oil has been described in WO2010038064-A1-“Consumer care or food composition e.g. toothpaste, consists of mesoporous microparticulate material, at least some of pores of which are loaded with ingredient, where mesoporous microparticulate material is encapsulated by capping layer”. The invention was intended for the use of coffee oil in the food industry [25].

The aforementioned patent suggests that the use of microencapsulated material (coffee oil) in food formulation provides high availability of bioactive ingredients, due to the ability to control and direct their release, besides protecting unstable compounds from oxidative reactions. The microencapsulated material applied in the food composition increases the useful life of the compounds responsible for the aroma, without necessarily requiring the use of natural essential oils or the use of other ingredients that can negatively affect some properties of the food [16], [26]. In this sense, the technique of microencapsulation of vegetable oils has been recommended to prevent the loss of volatiles, the degradation of lipids, unwanted interactions with other ingredients, etc.

The microencapsulation process produces microparticles formed by the oil (located mainly in the core) surrounded by the wall material (encapsulating material). This process not only prevents losses and chemical changes during the production and storage of food, but also results in a versatile ingredient in powder form and with new technological properties [12], [16], [26]. Given the small number of patents related to microencapsulated coffee oil and the wide applicability of this product, it is possible to confirm that there is still a vast area to be researched and that new patents can be developed, enhancing the technological innovation of these materials and their applications.

Among the 62 patents analyzed, 48 documents belong to a group of the 13 main applicants (Table 1), ranging from 2 to 9 patent applications per applicant. The main applicant was Nestec S/A, a Nestlé subsidiary with 9 orders. It was possible to verify that among the main actors in the process, there was no university or government research institutes. Therefore, most applicants belong to the private sector, such as General Foods Corporation, Ajinomoto General Foods Inc. and Kraft Food Corporation, etc.

Table 1. Main Applicants*

Applicants	Numbers of patents
NESTEC SA	9
GENERAL FOODS CORP	6
PROCTER & GAMBLE CO.	6
SOC PROD NESTLE SA	6
UCC UESHIMA KOHI KK	4
AJINOMOTO GENERAL FOODS INC	3
KONINKLIJKE DOUWE EGBERTS B.V.	3
KRAFT FOODS RD INC	3
HAIR ORIGHT INT CORP	2
NESTLE SA	2
SINGTEX IND CO LTD	2
ZELLER B L	2
Total	48

*Companies that filed only one patent were not listed

The company Resitec, from Brazil, has 1 patent filed with the researched theme, related to the process of obtaining unsaponifiable material from the coffee oil for sterols and terpenes recover [27]. Another invention of Brazilian origin listed in the Derwent database belongs to the Regional Cooperative of Coffee Growers of Gaxupé and has been patented for oil extraction by pressing. According to the authors, this process is a low cost and resulted in a high-quality product, naturally free of solvents [28]. Despite occupying the first position in production and the second in consumption of coffee in the world [2], the number of Brazilian patents worldwide related to this theme is still very small. Only twelve (12) patents were found on the INPI platform in the search. From these, 50 % belong to the C11B class, followed by A23F (42 %) and A61K (8 %). In Figure 6, the patent codes filed on the Brazilian platform are listed.

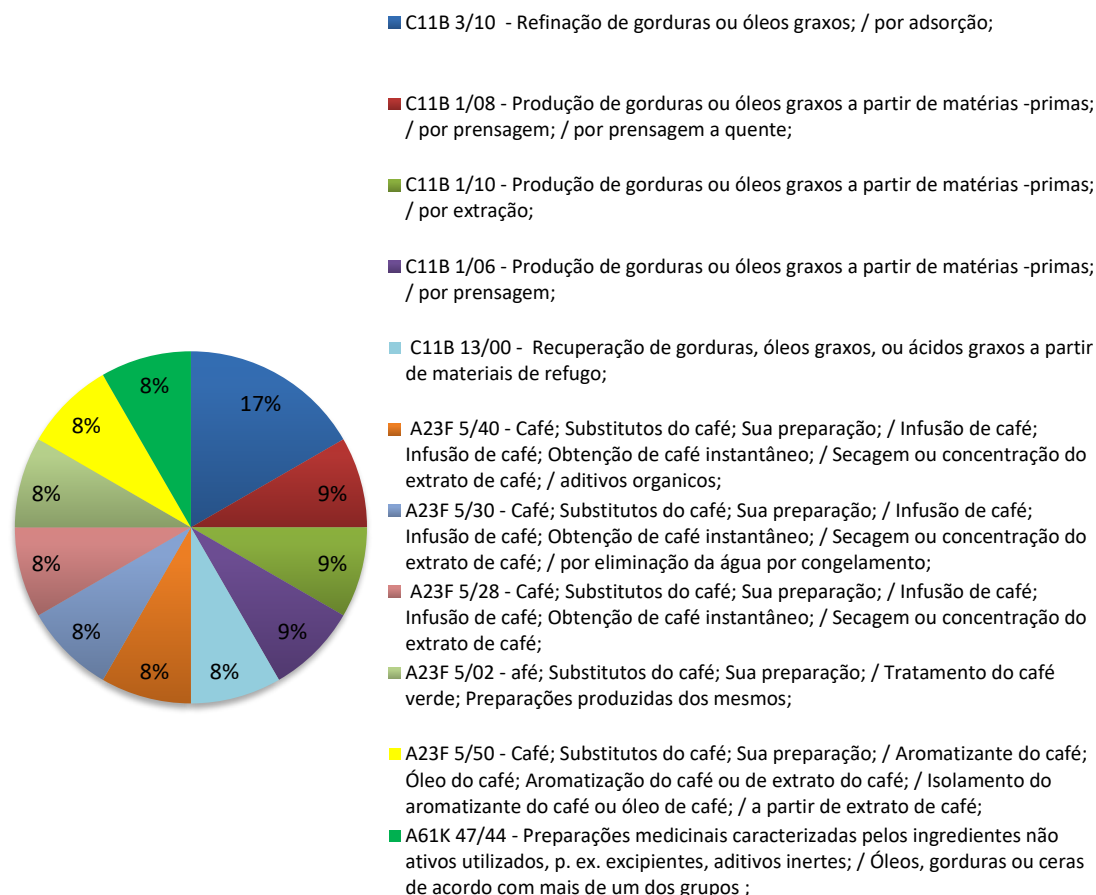


Fig. 6. Distribution of IPCs related to obtaining coffee oil by international classification codes on the INPI database

Within the INPI, a survey was carried out on the raw materials related to the keywords applied, identifying which were most representative on the Brazilian platform. shows the raw materials used to obtain oil in these patents.

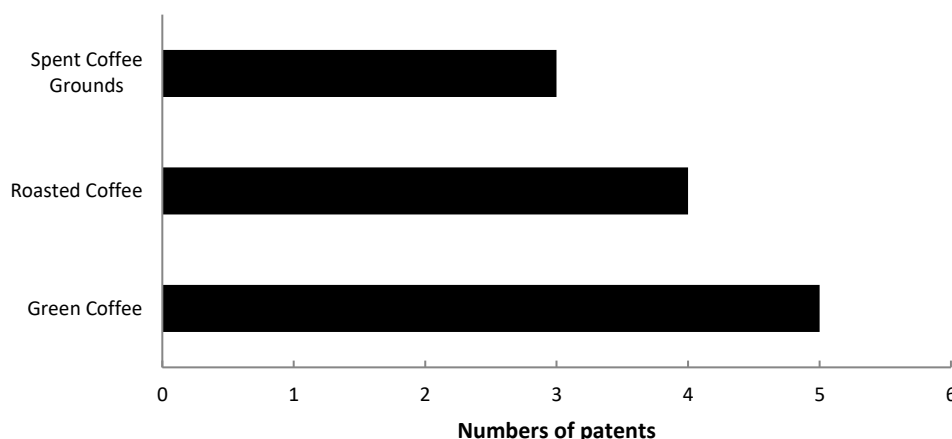


Fig. 7. Raw materials used to obtain coffee oil, according to patents identified at the INPI database

Amongst the patents analyzed on the INPI platform, the highlights were the production of instant coffee with the concentration of aromas from roasted coffee oil, used in pharmaceutical composition for drug absorption and also applied as a stabilizing agent for polymer matrices. Among the patents analyzed data the most cited techniques for the coffee oil extraction were also evaluated (Figure 8).

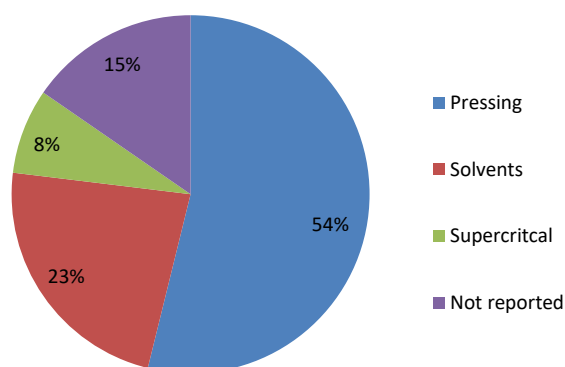


Fig. 8. Coffee oil extraction methods identified at the INPI database

Regarding the technological scope to coffee oil extraction, the pressing, solvent and supercritical fluid was identified. The pressing was the most used technique (54 % of the patents analyzed) to obtain coffee oil. Press extraction is a cleaner technology, without the use of solvents. However, the roasted coffee bean has a high amount of lignin, which makes it difficult to oil recover by pressing [29]. The solvent extraction represented 23 % of the patents analyzed and, among the most used solvents, hexane and ethanol stand out. Regarding the yield, the use of solvents is more satisfactory, justified by the direct interaction between the solvent and lipids inside the vegetal cell. Thus, studies to evaluate new techniques for the breakdown of lignin are necessary and its can allow to the oil recover from toasted coffee more attractive on a large scale.

According to Figure 9, the years 2014 and 2016 presented the highest number of patents filed, considering 1992 as the starting point for first patent filing registration at the INPI, by the company Société des Produits Nestlé. The patent PI 9204135-3 A2 deals with the production of instant coffee powder, with the addition of oil to be reintroduced into instant coffee powder as an aroma enhancer [30]. The increase in interest on the part of applicants showed an increase in the number of patent filings on this subject, going from just 3, until the year 2012, to 12 until July 2019, 2014 being the year with the highest number of patents. The patent documents for the years 2018 and 2019 were not reported, due to the confidentiality period, but the number of patents for these years might still increase.

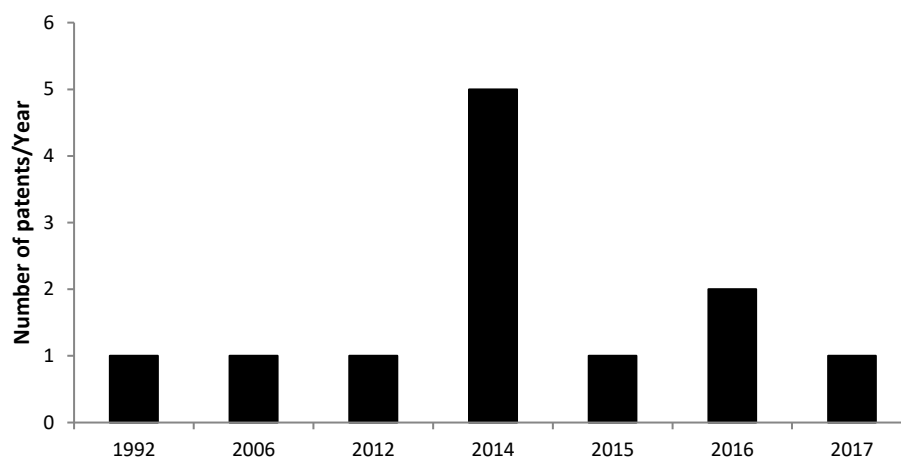


Fig. 9. Temporary evolution of the patent application between 1992-2017 on the INPI basis

Figure 10 illustrates the main countries with patent applications in Brazilian territory, in which it can be seen that Brazil holds 66 % of the patents deposited with the INPI. Among the patents of Brazilian origin, 50 % belong to the Cooperative of Coffee Growers of Gaxupé-MG, while the other half belongs to federal universities such as the Federal University of Goiás, State University of Campinas and Federal University of Pernambuco (UFPE, acronym in Portuguese).

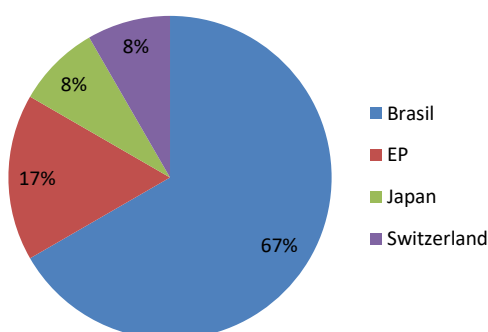


Fig. 10. Numbers of patent per Countries in INPI base

Amongst the universities, UFPE stands out with two patents filed with the INPI. In these cases, one apply the oil extracted from coffee grounds as a raw material for pharmaceutical purposes and the other as a stabilizing agent for polymeric matrices. The patent titled "Use of coffee grounds oil and pharmaceutical composition - BR 10 2016 028713 8" [31] does not describe the oil extraction process, but the use of ground seed oil as a promoter for cutaneous absorption of lipophilic and hydrophilic drugs. The patent - BR 102012024569-8 [32] refers to the use of oil extracted from coffee grounds, as a stabilizing additive of polymer matrices exposed to ionizing radiation. Viscosimeter tests showed a protection of approximately 67 % of the polymeric matrix. Among the main applicants, it was possible to enumerate the percentage of patents that were applied by companies, cooperatives and universities (Figure 11). In this scenario, only legal entities were identified as applicants. In the search any patents were identified when using the combination of the keywords "coffee oil and microencapsulation" and "coffee oil and spray drying".

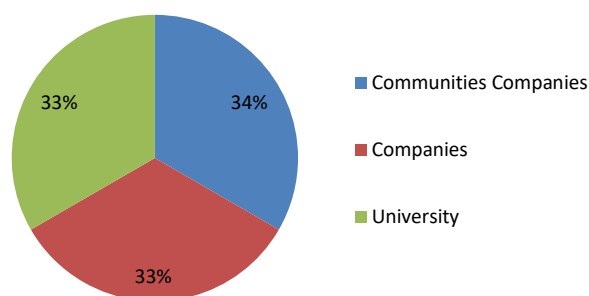


Fig. 11. Kind of Applicants

From these data, it appears that the interest on the part of agencies and universities that promote research addressing the methods and application of coffee oil is still low. Coffee oil is used as a natural additive in foods (antioxidant properties, flavoring) and has potential for application in several industrial sectors. In its entirety, the patents presented in this work focus on using coffee oil directly in food formulations. The extraction of bioactive compounds present in the oil represents an area of technology that needs more attention from researchers. Given the interest of society in seeking new natural compounds and clean technologies for the use of residual biomass aiming to obtain ingredients of industrial interest, studies of this nature have high potential and are still little explored.

4 CONCLUSIONS

This work aimed to present the scenario of patents in the area of extraction and main applications of coffee oil on the platforms available for consultation from INPI and Derwent Innovations Index. In the Derwent database, considering the applied keywords, resulted in 62 selected documents, in which 80 % of the patents were classified as A23 - inserted in the area of food products and their processing; coffee, teas and their manufacture; physical treatment and conservation. Considering only the class A23, 70 % of the documents analyzed within this classification belong to A23F. Within the A23F classification, 21% of the documents analyzed belong to the code A23F-005/46 - coffee aroma; coffee oil; flavoring of coffee or coffee extract (synthetic coffee flavorings). The period between 2014 and 2016 was responsible for 31 % of the evaluated documents and the United States has an expressive leadership with 27.9 % of the patents filed. Only two Brazilian patents were listed in the Derwent Index Innovation database.

Among the major reported technologies for the coffee oil extraction, the supercritical CO₂ represents 70 % of the patents deposited. Among the technological applications of coffee oil stands out the use as an aroma enhancer in the food industry. Nestec SA, a subsidiary of NESTLÉ, was the main depositor, with 14.5 % of the patents. Other private sector companies also stood out such as GENERAL FOOD CORPORATION, Ajinomoto, NESTLÉ and Kraft Food Corporation. In the patents analyzed on the INPI platform, the coffee oil is related to the production of instant coffee with the concentration of aromas, use in pharmaceutical formulation for the drugs absorption and as stabilizing agent for polymer matrices.

Among the most reported extraction methods, pressing represented 54 % of the 12 patents found on the INPI platform. Brazil stood out as the main depositor country, being the main actors in the process linked to cooperatives and universities. The main class of international classification code was C11B (producing, e.g. by pressing raw materials or by extracting waste materials, refining or preserving fatty lanolin, fat oils or waxes; essential oils) with 52 % of analyzed patents. The Cooperative of Cafeecultures of Gaxupé-MG has 30 % of the patents deposited. No patents were found on the INPI platform related to the keywords “microencapsulation and coffee oil” and “coffee oil and spray-drying”.

This fact requires greater attention on the part of research centers, universities and development institutions regarding the development of patentable inventions correlated with the aforementioned theme. This topic proved to be promising in terms of commercial exploitation due to its efficiency in preserving essential compounds in vegetable oils. The national industry and the academic community must be attentive to the coffee sector that influences the Brazilian economy so much, observing opportunities for constant development and evolution, especially in the transformation into technological innovation.

There is a large area very little explored aiming at the commercial application of SCG for oils, bioactive compounds and co-products recovery. In consequence, very few patents developed for the extraction of SCG compounds with possible application in several sectors such as agriculture, cosmetics and food. Its potential future is for functional foods and natural anti-oxidants production and / or as a flavor enhancer. Many other applications in different areas of society are expected to emerge with the use of coffee oil as a raw material, since the purification of the lipid extract to isolate a single fraction of compounds or a specific molecule is an open field that offers new opportunities for scientific studies and patents. It is necessary to enhance the Brazilian scientific capacity in the

dissemination of technological solutions for the disposal of agro-industrial waste, since this sector has a major role for the country's economy. Furthermore, microencapsulation of SCG's oil can provide an increase in the productive potential and incentive to technological innovation in the agro-industry, as well as the valorization of its residues.

ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the Program of Post-Graduation in Chemical and Biochemical Process' Engineering at Federal University of Rio de Janeiro (EPQB/UFRJ) and the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio de Janeiro (IFRJ) for supporting the research.

REFERENCES

- [1] CECAFÉ, C. DOS E. DE C. DO B. Relatório de Exportações 2018, 2018.
[Online] Available: <<https://www.cecafe.com.br/dados>>. (May 7, 2019).
- [2] ICO. Tendência baixista no mercado de café se prolonga, 2018.
[Online] Available: <http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics>. (May 7, 2019).
- [3] W.T LAI, N.M.H. KHONG, S.S. LIM, Y.Y. HEE, B.I. SIM, LAU, K.Y., LAI, O.M. "A review: Modified agricultural by-products for the development and fortification of food products and nutraceuticals". *Trends in Food Science and Technology*, v. 59, p. 148–160, 2017.
- [4] J. C. PAGE, N. P. ARRUDA, S. P. FREITAS, Crude ethanolic extract from spent coffee grounds: Volatile and functional properties. *Waste Management*, v. 69, p. 463–469, 2017.
- [5] V. BREZOVÁ, A. ŠLEBODOVÁ, A. STAŠKO, "Coffee as a source of antioxidants: An EPR study". *Food Chemistry*, v. 114, n. 3, p. 859–868, 2009.
- [6] E. C. FRASCARELI, V. M. SILVA, R. V. TONON, "Determination of critical storage conditions of coffee oil microcapsules by coupling water sorption isotherms and glass transition temperature". *International Journal of Food Science and Technology*, v. 47, p. 1044–1054, 2012.
- [7] E. KOH, K. H. HONG, "Preparation and properties of wool fabrics dyed with spent coffee ground extract". *Textile Research Journal*, p. 1–7, 2017.
- [8] W. J. YEN, B.S. WANG, L.W. CHANG, P.D. DUH, "Antioxidant properties of roasted coffee residues". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 7, p. 2658–2663, 2005.
- [9] A. FARAH, C.M. DONANGELO, "Phenolic compounds in coffee". *Plant Physiology*. v.18, p.23-36, 2006.
- [10] N. P. ARRUDA, A. M. C. HOVELL, C. M. REZENDE, S. P. FREITAS, S. COURI, H. R. BIZZO, "Correlação entre precursores e voláteis em café arábica brasileiro processado pelas vias seca, semiúmida e úmida e discriminação através da análise por componentes principais". *Química Nova*, v. 35, n. 10, p. 2044–2051, 2012.
- [11] L. MONDELLO, R. COSTA, P. Q. TRANCHIDA, P. DUGO, M. LO PRESTI, S. FESTA, A. FAZIO, G. DUGO, "Reliable characterization of coffee bean aroma profiles by automated headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry with the support of a dual-filter mass spectra library". *Journal of Separation Science*, v. 28, n. 9–10, p. 1101–1109, 2005.
- [12] B.NIKOLOVA-DAMYANOVA, R.E VELIKOVA, G.N. JHAM, "Fatty acid composition and triacylglycerol molecular species in crude coffee beans harvested in Brazil". *Food Res. Int.*, v. 31, p. 479–486, 1998.
- [13] P. FOLSTAR, Lipids. In: Macrae R (eds), *Coffee Chemistry*, Vol. 1, pp.203-222. Elsevier Applied Science, London, New York, 1985.
- [14] B. AHANGARI, J. SARGOLZAEI, "Extraction of lipids from spent coffee grounds using organic solvents and supercritical carbon dioxide". *Journal of Food Processing and Preservation* v. 37, 2013.
- [15] A.B.A T.G. AZEVEDO, A.K. KIECKBUSH, R.S.TASHIMA, P. MOHAMED, S.A.B. MAZZAFERA, "Extraction of green coffee oil using supercritical carbon dioxide". *Journal of Supercritical Fluids*, 44, pp. 186-192, 2008.
- [16] E. C. FRASCARELI, V. M. SILVA, R. V.TONON, M.D. HUBINGER, "Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying". *Food and Bioproducts Processing*, v. 90, n. 3, p. 413-424, 2012.
- [17] G. HEIJMAN, P.M.T. DE KOK, A. OOSTERVELD, P.M. THERESIA DE KOK, P.M.T.D. KOK, G. HEIJMAN, WO2016209075-A1- Preparation of instant coffee product containing aromatized soluble coffee particles involves applying odor-acceptable edible oil on soluble coffee particles in which oil is subjected to aroma transfer from roast coffee beans, 2016. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [18] H. TIAN, L. WANG, X.LIU, L. ZAN, Y. LIAN, CN103720830-A Preparation of chlorogenic acid concentrated liquid oil from coffee beans involves grinding coffee beans, extracting oil using butane or petroleum ether, and performing organic solvent extraction of chlorogenic acid, 2014. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).

- [19] W. KO, T. TSAI, J. TUNG, TW201714604-A. Anti-UV cosmetic composition containing natural plant oil for alleviating the light decaying phenomenon of chemical sun-screening agent, avoiding the damage to hair and skin caused by chemical sun-screening agent, and increasing SPF value, 2015. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [20] S. BYUN, Y. SONG, WO2014069677-A1 Promoting inhibitory melanogenesis of skin involves delivering an effective dosage of coffee oil to inhibit synthesis of proteins related to melanin synthesis in human skin e.g. melanocyte-stimulating hormone and melanocortin receptor, 2014. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [21] H. LIU, S. SHAO, F. CENG, CN107674758-A Extraction of coffee oil by ultrasonic subcritical fluid extraction involves extracting mixture of dried coffee and solvent under preset conditions, removing the solvent and residue using thin-film evaporator, 2017. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [22] TAKASAGO Perfumery CO LTD (TAKS-C), JP3217500-A -Coffee flavour ingredient prepn.-by adding coffee oil obtd. from roasted coffee beans with ethyl alcohol and then distilling, 1990. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [23] S.P. FREITAS, P.L. MONTEIRO, R.C. A. LAGO, "Extração do óleo da borra de café solúvel com etanol comercial". Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Brasil, pp. 740–743. 2000.
- [24] GENERAL Foods Corp, US3809766-A Freeze dried coffee-incorporating aroma enhancer in glyceride carrier, 1974. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [25] L. CANHAM, A. LONI, S. U. A. QURRAT, Q. U. A. SHABIR., L. T. CANHAM., WO2010038064-A1-Consumer care or food composition e.g. toothpaste comprises mesoporous microparticulate material, at least some of pores of which are loaded with ingredient, where loaded mesoporous microparticulate material is encapsulated by capping layer, 2010. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 7, 2019).
- [26] A. M. GOULA, K. G. ADAMOPOULOS, "A method for pomegranate seed application in food industries: Seed oil encapsulation". Food and Bioproducts Processing, v. 90, n. 4, p. 639–652, 2012.
- [27] R. ROHR, J. TRUJILLO-QUIJANO, A. WO200198444-A2 Extraction-concentration of valuable products from industrialized animal and vegetal products, comprises saponifying by-products with strong-base soap, transforming soap into reduced melting point metallic soap, 2002. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 16, 2019).
- [28] M.R. CASAGRANDE, BR102014026048-A2 Producing clarified green coffee oil involves carrying out cold extraction of green coffee oil through mechanical press, collecting crude oil in tank, and then transferring green coffee oil into oil treatment reactor, 2014. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 16, 2019).
- [29] L.F. BALLESTEROS, J.A. TEIXEIRA, S.I. MUSSATTO, "Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin". Food Bioprocess Technol., 7, 3493–3503, 2014.
- [30] J. M. PAWLUCZYK, J.M. PARCHET, PI 9204135-3 A2 Processo para o tratamento de óleo de café destinado a ser posto em contato com neve carbônica, 1992. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 16, 2019).
- [31] L. B. LEAL, D. P. SANTANA, G. D. SOUSA, I. M. F. S. DANTAS, K. A. S. AQUINO, BR 10201602871-8 Uso do óleo da borra do café e composição farmacêutica, 2016. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 16, 2019).
- [32] K. A. S. AQUINO, T. M. B. ALMEIDA, R.V. TEIXEIRA, T. A. LIMA, BR 102012024569-8 Óleo da borra de café como agente estabilizante, 2012. [Online] Available: <https://www.webofknowledge.com/> (May 16, 2019).

Entrepreneurial Project-based Education through E-Learning among Employed College Students

Evi Thelia Sari¹, Maria Rochelle G. Divinagracia², and Parwita Setya Wardhani¹

¹Management Department, STIE Mahardhika, Surabaya, Indonesia

²Independent Researcher, Manila, Philippines

Copyright © 2021 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 aims to examine the satisfaction of employed college students about the entrepreneurial project-based education using an e-learning platform. One hundred seventy-nine students of the Creative Design course which requires entrepreneurial projects. Multiple regression analysis examined the influence of six independent variables, namely: «perceived navigation», «perceived convenience», «perceived compatibility», «perceived usefulness», «perceived ease to use» and «perceived enjoyment» towards the satisfaction in the use of e-learning platform for the course. Results showed that only «perceived navigation», «perceived compatibility», «perceived usefulness», and «perceived enjoyment» significantly influence the satisfaction on the use of e-learning platform for entrepreneurial projects. «Perceived navigation» is the most significant variable that influences these students' satisfaction in the use of e-learning for the required entrepreneurial project. There is a need to ensure the consistency to resources (i.e. e-learning platform), environment, and management to make the entrepreneurial project-based activities adapt the smart-classroom characteristics.

KEYWORDS: Entrepreneurial, project-based education, e-learning, employed students.

1 INTRODUCTION

Various fields of business massively use technologies. Education, as one of the business fields, requires academic institutions to adopt new technology-based systems in this modern time. College students who are millennials or Gen Z demand the advanced features of technology to make their life and learning process easier. This situation exemplifies the concept of modernity in social, economics, and cultural aspects [1]. Thus, it is imperative for higher education institutions (HEIs) to aggressively and continuously innovate their learning methodologies using digital information and technology.

Entrepreneurship education at the college level is increasing, and becoming the trend in the world of higher education. The common goal of such education is to imbibe among students the eagerness to create and innovate new ventures [2]. The course on entrepreneurship requires theories, competencies and even practical works that enhance the creativity, initiative, teamwork, and entrepreneurial capabilities. Its popularity is attributed to the use of distance learning methodologies and access to the internet [2].

Participants of this research are college students under the Management degree program. Nine-three percent (93%) of these students are employed and enrolled in regular evening classes. They are regular employees of private enterprises or government institutions which require them to stay in the workplace during the day, and attend classes in the evening.

By the fifth semester of their studies, these students have to enroll and complete the practical work, called Entrepreneurial Project. This project is undertaken from Weeks 4 to 14 of the fifth semester before a written group final report is submitted to the advisor. All courses taught in the fifth semester end in a classroom delivery mode, and continue using an e-learning platform. This platform helps the student to access the course materials, and indicates a student's presence and participation to the lecturer. Some students consider this platform helpful because they can allocate more time for the Project. On the other hand, some students had difficulty in communicating with their teammates to discuss extensively the Project as well as in understanding course materials given by the lecturer. These students consider that a face-to-face discussion with the lecturer is necessary. Despite these situations, there are messaging applications such as Whatsapp, Line or email that can be used. Eventually, e-learning methods and applications will be used extensively in HEIs.

This study examines the students' satisfaction in doing the entrepreneurial projects through an e-learning platform. The satisfaction level is measured by perceived navigation, convenience, compatibility, usefulness, ease to use and enjoyment while accessing e-learning in doing the entrepreneurial project-based activities.

2 LITERATURE REVIEW

2.1 MOBILE LEARNING AND E-LEARNING

M-Learning is a form of e-learning in terms of the mobile devices usage, such as smartphones, tablets and other devices instead of personal desk-top computers that are used to deliver and receive the learning contents [3]. E-learning is defined as a set of application and process using the web. It is a computer-based learning, conducted in virtual classroom and supports the digital collaboration [4]. Although mobile learning is very common these days, it has limitations such as complicated interface, consumption on gadget memory and battery life, and potential low internet connection that is annoying the learning process [5].

This study used the measurement of the constructs raised by Cheng with some adjustments to the research inquiry, research questions and the situation of research objects with the usage of structural equation modelling while this study used multiple regression analysis [3]. This study also adapted the seven constructs in Cheng's study, namely: navigation, convenience, compatibility, and perceived-usefulness, perceived-ease of use, perceived enjoyment and intention to use. Perceived navigation, convenience, compatibility, usefulness, ease of use and perceived enjoyment are independent variables and satisfaction is the dependent variable. Cheng's construct of intention to use was merged as an indicator of satisfaction.

Navigation refers to the self-directed movement process with greater control from users to search and retrieve information [3]. In this study, the navigation is indicated by how the users are directed to all learning environments, ways to explore and move in the learning environment, and get the learning materials from this learning mode. Convenience is defined as the media used by the users that are easier for them to save their time and effort to access the learning process [3]. It consists of how the users are comfortable to use the e-learning and to learn something. It also indicates how e-learning helps the users to study whenever and wherever they are.

Because the users are required to access the material and be directed to a learning environment in various ways, compatibility is necessary. Compatibility is the consistency of innovation to users' values and experience [3]. In this study, this variable was measured by the compatibility of the users' learning aspect, way to learn something, and the learning style. Perceived usefulness in Cheng's study was not an independent variable. It is defined as how the users perceive that a learning method is useful for the entrepreneurship learning process being employed students [3]. It is measured in terms of how the users perceive that e-learning increases the effectiveness of their study, the possibility to control their learning process, and the usefulness to their learning process. On the other hand, ease of usage is perceived by the users in terms of their efforts to access the e-learning during the students' entrepreneurship learning semester either mentally and technically. Enjoyment is also the perceived variables based on the navigation, convenience and compatibility, however in this study, perceived enjoyment is defined as how the users enjoy using e-learning in their semester full of entrepreneurial projects [3].

2.2 ENTREPRENEURIAL PROJECT-BASED

Degree programs in college require teamwork, hard work, initiatives, good knowledge, and focus on entrepreneurial projects. While entrepreneurship is important in enhancing the welfare of the society, courses on entrepreneurship cannot be solely taught conventionally in the classroom. Its application and practice are necessary to prepare and improve the students' capabilities and competencies prior to venturing into the real world of business. Furthermore, mobile learning is a potential to a student's access to education and its learning materials [5].

2.3 ENTREPRENEURSHIP EDUCATION

An entrepreneur is defined as a person who is able to see and evaluate the opportunities in the business. The entrepreneur needs to apply mathematics, economics and behavioral sciences, and eventually, link them to the business process [6]. In entrepreneurship education, experiential learning is needed in which the teacher and student reveal the relationship as subject narrator and listener. In the modern era where millennials live, experiential e-learning is another option to disseminate information about the courses and degree programs that can enhance and nurture the entrepreneurial competencies of students [6].

2.4 EMPLOYED STUDENTS

Employed students can be much stressed because they have to strive with the working hours and maintain a GPA while studying [7]. Thus, the ability of an academic institution to determine the preferences for class schedule and learning methods perceived by these students are deemed necessary. Nevertheless, it is important to consider that students who are employed should be measured differently than other students who do not need to work during their study periods [8].

3 RESEARCH METHODOLOGY

The population of the study consists of 400 regular Management class students who are on their fifth semester and are required to take the Entrepreneurial Project course within the semester. This Project course comprises all courses taught in the respective semester, namely:

(1) Entrepreneurship, (2) Salesmanship, (3) Management Information Systems, (4) Business Feasibility Study, (5) Performance Management System, and (6) Creative Design. However, only 179 students were purposively selected for the study. These respondents came from three classes of the Creative Design course, which has the largest number of enrollees, and is a new course offered in the respective semester. They are also employed in several companies in the city of Surabaya.

Multiple regression analysis was used to examine the perceived effects of “navigation,” “convenience,” “compatibility,” “usefulness,” “ease of use,” and “enjoyment” to the “satisfaction” in using mobile learning during their Entrepreneurial Project course. This study adapted Cheng’s six constructs, namely: (1) navigation, (2) convenience, (3) compatibility, (4) usefulness, (5) ease of use, (6) enjoyment, as independent variables. These variables were measured using 21 statement-items. On the other hand, Cheng’s construct of intention to use was included in the dependent variable, “satisfaction” (Table 1) [3].

Perceived navigation is measured by how the users are directed to and move in a learning environment, ways to explore, and get the learning materials from this learning mode. Perceived convenience is indicated by how the users are comfortable to the use of e-learning to learn something whenever and wherever they are. Because the users are required to access the learning materials and be directed to a learning environment in various ways, compatibility is necessary. This variable is measured by the consistency in the users’ learning aspects and learning style. Perceived usefulness is defined as how a learning method is perceived useful in the entrepreneurship learning process given that these students have full-time work. Perceived ease of usage is measured in terms of users’ effort to access the e-learning modules during the entrepreneurship learning semester, either mentally or technically. Perceived enjoyment is defined as how the users enjoy e-learning in their entrepreneurial projects.

The dependent variable, “satisfaction” included Cheng’s construct of “intention to use.” Ten statement-items measured satisfaction (Table 1) in terms of eagerness to use e-learning in other processes, cost-saving, easier collaboration, self-study, easier teamwork in the entrepreneurial project, increase in learning motivation, and appropriateness of e-learning during the semester’s learning process.

Table 1. Questionnaire

No.	Item	Code	Remark
1	I am directed to all learning environment when using e-learning.	NAVIG_1	Adapted from [3]
2	E-Learning helps me to explore learning environment in various ways.	NAVIG_2	Adapted from [3]
3	Using e-learning helps me to move more in learning environment.	NAVIG_3	Adapted from [3]
4	I get learning materials from –learning.	NAVIG_4	Adapted from [3]
5	Using e-learning is comfortable for me.	CONVEN_1	Adapted from [3]
6	I think using e-learning is comfortable way to study.	CONVEN_2	Adapted from [3]
7	E-learning helps me to study whenever I want.	CONVEN_3	Adapted from [3]
8	E-learning helps me to study wherever I want.	CONVEN_4	Adapted from [3]
9	E-learning can be fit to my learning aspects.	COMPAT_1	Adapted from [3]
10	E-learning is matched to study method I want.	COMPAT_2	Adapted from [3]
11	E-learning is matched to my learning style.	COMPAT_3	Adapted from [3]
12	E-learning increases learning effectiveness.	USEFUL_1	Adapted from [3]
13	E-learning gives possibility for me to control my learning process.	USEFUL_2	Adapted from [3]
14	E-learning is useful for my learning process in this semester.	USEFUL_3	Adapted from [3]
15	It is easy for me to interact with e-learning with simple mentally effort.	EASE_1	Adapted from [3]
16	It is easy to understand the interaction with e-learning.	EASE_2	Adapted from [3]
17	E-learning is easy to use.	EASE_3	Adapted from [3]
18	I enjoy e-learning.	ENJOY_1	Adapted from [3]
19	I enjoy the actual process using e-learning	ENJOY_2	Adapted from [3]
20	I like using e-learning.	ENJOY_3	Adapted from [3]
21	I enjoy e-learning so I will use it again in the future.	ENJOY_4	Adapted from [3]
22	I will use e-learning more frequent in the future.	SAT_1	Adapted from [3], ‘Intention to use’ construct
23	I will continue using e-learning in the future.	SAT_2	Adapted from [3], ‘Intention to use’ construct
24	I can save transport cost by using e-learning.	SAT_3	Author
25	Collaboration with other students is easy by using e-learning.	SAT_4	Author
26	Self-study using e-learning is very interesting.	SAT_5	Author
27	Entrepreneurial project team work is easier by using e-learning	SAT_6	Author
28	e-learning increases my motivation to study during this semester	SAT_7	Author
29	e-learning is suitable for this semester	SAT_8	Author
30	e-learning makes me easier to do the entrepreneurial project.	SAT_9	Author
31	e-learning makes me easier to get learning material to do the entrepreneurial project.	SAT_10	Author

4 RESULTS AND DISCUSSION

One hundred seventy-nine employed college students comprising of 78 male and 101 female students participated in this study. Table 2 provides the mean response ratings for each item-statement (Table 1). Students rated each item-statement as either “strongly disagree” (1), “disagree” (2), “neutral” (3), “agree” (4) and “strongly agree” (5).

Table 2. Mean Response Rating Per Item-Statement

Item	Mean Response Rating	Remark	Item	Mean Response Rating	Remark
NAVIG_1	3.55	medium	EASE_3	4.02	high
NAVIG_2	3.68	high	ENJOY_1	3.70	high
NAVIG_3	3.48	medium	ENJOY_2	3.54	medium
NAVIG_4	3.97	high	ENJOY_3	3.59	medium
CONVEN_1	3.66	high	ENJOY_4	3.36	medium
CONVEN_2	3.46	medium	SAT_1	3.40	medium
CONVEN_3	3.98	high	SAT_2	3.45	medium
CONVEN_4	4.07	high	SAT_3	4.33	high
COMPAT_1	3.45	medium	SAT_4	3.67	high
COMPAT_2	3.28	medium	SAT_5	3.58	medium
COMPAT_3	3.21	medium	SAT_6	3.56	medium
USEFUL_1	3.42	medium	SAT_7	3.40	medium
USEFUL_2	3.45	medium	SAT_8	3.79	high
USEFUL_3	3.56	medium	SAT_9	3.79	high
EASE_1	3.74	high	SAT_10	3.69	high
EASE_2	3.33	medium			

Table 2 further shows that majority of the students’ mean response rating are categorized as “medium”. This implies that most of the students “agreed” to 18 item-statements of the questionnaire. Moreover, 13 item-statements are categorized “high” indicating “strongly agree” response rating.

Table 3. Percentage of Students Who Rated Per Item-Statement

Item	Percentage of Students					
	Strongly Disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly Agree	TOTAL
NAVIG_1	1.1	10.1	30.2	49.7	8.9	100.0
NAVIG_2	1.1	8.4	27.4	48.0	15.1	100.0
NAVIG_3	.6	17.3	26.3	45.3	10.6	100.0
NAVIG_4	0	7.8	15.1	49.2	27.9	100.0
CONVEN_1	.6	12.8	24.0	45.3	17.3	100.0
CONVEN_2	.6	17.3	33.5	33.0	15.6	100.0
CONVEN_3	0	6.7	17.3	47.5	28.5	100.0
CONVEN_4	.6	3.4	19.6	41.9	34.6	100.0
COMPAT_1	1.1	8.4	42.5	40.2	7.8	100.0
COMPAT_2	2.8	16.8	37.4	35.8	7.3	100.0
COMPAT_3	2.8	21.2	38.0	27.9	10.1	100.0
USEFUL_1	3.9	12.8	35.8	32.4	15.1	100.0
USEFUL_2	1.1	11.2	40.2	36.9	10.6	100.0
USEFUL_3	.6	12.3	28.5	47.5	11.2	100.0
EASE_1	1.1	5.0	30.2	45.8	17.9	100.0
EASE_2	5.0	12.8	33.5	41.3	7.3	100.0
EASE_3	0	4.5	21.8	41.3	32.4	100.0
ENJOY_1	1.1	8.4	33.0	34.6	22.9	100.0
ENJOY_2	1.7	11.7	29.6	44.7	12.3	100.0
ENJOY_3	2.2	9.5	34.1	35.8	18.4	100.0
ENJOY_4	1.7	14.0	40.2	34.6	9.5	100.0
SAT_1	1.1	11.7	41.3	37.4	8.4	100.0
SAT_2	1.1	12.8	38.5	34.6	12.8	100.0

SAT_3	1.1	2.8	11.7	30.7	53.6	100.0
SAT_4	2.2	11.2	27.9	34.6	24.0	100.0
SAT_5	1.1	12.8	28.5	41.9	15.6	100.0
SAT_6	1.1	14.0	27.9	41.9	15.1	100.0
SAT_7	2.2	16.8	34.1	32.4	14.5	100.0
SAT_8	1.7	7.8	24.6	41.3	24.6	100.0
SAT_9	.6	7.3	27.9	40.8	23.5	100.0
SAT_10	.6	9.5	33.0	34.6	22.3	100.0

Table 3 shows the percentage of students who rated per item-statement. To cite, 1.1 % of 179 students “strongly disagreed” for item-statement coded “EASE_1”. The item-statement coded “COMPAT_3” shows 21.2% of the students “disagreed”. Most of the students (42.5%) rated “neutral” to “COMPAT_1”. The item-statement coded “NAVIG_1” was rated “agree” by 49.7% of 179 students. Moreover, item-statement coded “SAT_3” was rated “strongly agree” by 53.6% of the students. Validity and reliability tests were conducted to ensure the eligibility of all statement-items used in the study. Table 4 indicates that all item-statements are valid for further analysis. Reliability statistics shows all 31 item-statements are reliable with a Cronbach Alpha value of 0.952 (Table 5).

Table 4. Validity Test

Item	Pearson Correlation	Item	Pearson Correlation
NAVIG_1	.625**	EASE_3	.508**
NAVIG_2	.618**	ENJOY_1	.709**
NAVIG_3	.687**	ENJOY_2	.697**
NAVIG_4	.434**	ENJOY_3	.691**
CONVEN_1	.671**	ENJOY_4	.685**
CONVEN_2	.785**	SAT_1	.701**
CONVEN_3	.617**	SAT_2	.706**
CONVEN_4	.499**	SAT_3	.471**
COMPAT_1	.711**	SAT_4	.581**
COMPAT_2	.711**	SAT_5	.688**
COMPAT_3	.723**	SAT_6	.577**
USEFUL_1	.706**	SAT_7	.785**
USEFUL_2	.609**	SAT_8	.684**
USEFUL_3	.654**	SAT_9	.556**
EASE_1	.390**	SAT_10	.637**
EASE_2	.673**		

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Table 5. Reliability Test

Case Processing Abstract						
				Reliability Statistics		
		N	%	Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
Cases	Valid	179	100.0	.952	.952	31
	Excluded	0	0.0			
	Total	179	100.0			

Table 6 shows that all independent variables, “enjoyment,” “navigation,” “ease of use,” “usefulness,” “convenience,” and “compatibility” contributed to the satisfaction level of the students in the use of e-learning for entrepreneurial projects. The adjusted R Square value of 0.669 means that a student’s satisfaction in using e-learning during the conduct of entrepreneurial projects can be explained 66.9% by those six independent variables; while 33.1% is explained by other variables not studied in this research.

Table 6. Coefficient of Determination (R^2)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.825 ^a	.680	.669	3.746	1.482

a. Predictors: (Constant), ENJOYMENT, NAVIGATION, EASE, USEFULNESS, CONVENIENCE, COMPATIBILITY

b. Dependent Variable: SATISFACTION

Table 7. ANOVA-F Test

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5135.469	6	855.912	60.982	.000 ^b
	Residual	2414.084	172	14.035		
	Total	7549.553	178			

a. Dependent Variable: SATISFACTION

b. Predictors: (Constant), ENJOYMENT, NAVIGATION, EASE, USEFULNESS, CONVENIENCE, COMPATIBILITY

Table 7 indicates that perceived navigation, perceived convenience, perceived compatibility, perceived usefulness, perceived ease of use, and perceived enjoyment simultaneously influence the satisfaction of e-learning usage for entrepreneurial projects. Table 8 shows that there is no item with collinearity because the tolerance value is more than 0.10 and the VIF values are not more than 10.

Table 8. t-Test

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	4.600	1.859		2.474	.014		
NAVIGATION	.557	.152	.224	3.653	.000	.493	2.030
CONVENIENCE	.144	.147	.064	.979	.329	.432	2.312
COMPATIBILITY	.516	.192	.186	2.694	.008	.391	2.560
USEFULNESS	.679	.193	.233	3.514	.001	.424	2.357
EASE	.357	.191	.108	1.872	.063	.555	1.800
ENJOYMENT	.391	.149	.186	2.629	.009	.372	2.689

Dependent Variable: SATISFACTION

Further, the table indicates how each independent variable partially influences the dependent variable. Standardized beta coefficients show that the perceived usefulness of e-learning (Std B = 2.33) provided the greatest contribution to the satisfaction. The highly significant independent variable is "perceived navigation" (Sig = 0.000). "Perceived usefulness" is also a highly significant independent variable at Sig = 0.001. These implied that e-learning navigation is common to millennials and gen-Z as they are accustomed to various web-based applications which may be more complicated than e-learning platforms. The students perceive that e-learning navigation is easy but if they feel that e-learning is useless to their learning process, dissatisfaction results. Convenience is perceived to be not significant in the conduct of their entrepreneurial project. Face-to-face communication and discussion with their teammates are necessary instead of the "clicking activities" of the e-learning platform. The students' real and practical experience results to a more effective entrepreneurship education [9]. E-learning is also about how the students tailored to the training and collaborated digitally [4]. Other study found that the actual experience maximizes the students' entrepreneurship learning and improves the understanding of entrepreneurship [10]. Thus, "perceived convenience" variable may not significantly influence "satisfaction" because these students have practical applications and experiences in their workplaces.

Every platform used in teaching should highlight its usefulness, not only for students but also for the lecturers or instructors. A study concluded that consistency of the e-learning system used in higher education institutions is important especially in the area of its flexibility, interactivity, cooperation and motivation [11]. The respondents used in this study perceived that compatibility to their ways to learn and the method they can adjust to significantly influence their satisfaction. Their situation as employed college students and the need to communicate and interact with peers or lecturers contribute to the variable, "perceived compatibility" being significant to their satisfaction in the conduct of their entrepreneurial project. The platform used by these students is compatible with their daily activities. On the other hand, the Gen-Z students are literate in using phone applications when they have to discuss with peers without face-to-face meeting. It saves time, energy, and money as well.

The variable "perceived usefulness", is also significant to their satisfaction because during the semester, they can learn the theoretical concepts of the course in more effective ways and control their learning by themselves. As employed college students, they work most of the day regardless of job position. During their break or after-working hours, they can access the e-learning modules for information updates and materials from lecturers. It becomes easier and faster to contact and coordinate with their teammates using chat or group chat applications which are commonly used and installed in the mobile smartphones.

Entrepreneurial education is identical with real experiences which are related to the personal behavior and attitude. Theoretically, it is not compatible with conventional ways of teaching. The students of this study perceived e-learning methods as easy to use yet, not significant to their satisfaction in doing entrepreneurial projects. As full-time employed college students, they have sufficient experience in doing jobs, making decision, networking, skills, among others, entrepreneurial competencies [12]. These students may have high network literacy on the use any online application and internet, making it easy for them to use e-learning on their mobile smartphones. The challenge

then, is not about the ease of use but the discipline, safety and appropriateness to use e-learning for the project-based entrepreneurship course [13].

Another study underlined that enjoyment is a critical part in education to make the students interested and engaged to the teaching materials [14]. This study shows the significant value of the “perceived enjoyment” to students’ satisfaction. It is important for the academic institution to increase the platform’s quality so that the students to enjoy more. Notwithstanding, the employed students are also college students whose input and output qualities can be measured similar to unemployed college students. Obviously, the employed students are skilled and practically-trained but are also challenged given their limited time to work on their study assignments. Thus, e-learning becomes helpful for them to access learning materials, interact with the lecturer and other students using the supporting platform [4].

Any platform used for the project-based entrepreneurship education is concerned with its implementation. The online mode of learning, as in this study, has to facilitate the experiment and real practice in many ways to improve the students’ learning outcomes [15].

5 CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

The college students who are full-time employees in companies within Surabaya are satisfied in using e-learning modalities in order to conduct and complete their entrepreneurial projects. Perceived navigation, compatibility, usefulness, and enjoyment significantly influences the satisfaction on e-learning for entrepreneurial projects. Perceived navigation is the most significant variable to these students’ satisfaction in the use of e-learning. Navigation in e-learning saves time and effort with faster speed in coordination given that these students have very limited time to complete the entrepreneurial projects. Perceived convenience and ease of use are not significant to the students’ satisfaction level on e-learning.

The study suggests that there is a need to ensure the consistency to resources (i.e. e-learning platform), environment, and management to make the entrepreneurial project-based activities adapt the smart-classroom characteristics as digital learning resources are accessed here [16].

REFERENCES

- [1] V. Kryukov and A. Gorin, “Digital Technologies as Education Innovation at Universities”, *Journal of Internet Banking and Commerce*, Vol. 21, No. 3, pp.1-19, December 2016.
- [2] E.M. Akhmetshin, I.G. Kuderova, A.V. Rymshin, S.R. Gayazova, E.V. Romanova, and E.A. Erzinkyan, “Entrepreneurial Skills Development through Distance Learning”, *Journal of Entrepreneurship Education*, Vol. 22, Special Issue, 2019.
- [3] Y.M. Cheng, “Towards an Understanding of the Factors Affecting M-Learning Acceptance: Roles of Technological Characteristics and Compatibility,” *Asia Pacific Management Review*, 20, pp. 109-119, 2015.
- [4] M. Cerdán-Chiscano, and A. I. Jiménez-Zarco, “E-learning and Entrepreneurship: Boosting Spin-offs’ Success through a Process of Acceleration,” *eLC Research Paper Series*, 9, pp. 45-55, 2014.
- [5] N.A. Ameen and R. Willis, “The Use of Mobile Phones to Support Women’s Entrepreneurship in the Arab Countries,” *International Journal of Gender and Entrepreneurship*, Vol. 8 No. 4, pp. 424-445, 2016.
- [6] K. McFarland, “Entrepreneurship Education and Experiential E-learning: A Literature Review,” *Development in Business Simulation and Experiential Learning*, Vol. 44, pp. 267-273, 2017.
- [7] G. Jogaratnam and P. Buchanan, “Balancing the Demands of School and Work: Stress and Employed Hospitality Students”, *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 16, 4/5, pp. 237-245, 2004.
- [8] H. Simon, J.M.C Diaz and J.L.C. Costa, “Analysis of University Student Employment and Its Impact on Academic Performance, *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 15 (2), pp. 281-306, 2017.
- [9] M. Botha, “A project-based Learning Approach as a Method of Teaching Entrepreneurship to a Large Group of Undergraduate Students in South Africa,” *Education As Change*, Vol. 14, No. 2,, pp. 213–232, December 2010.
- [10] R. Mandel and E. Noyes, “Survey of Experiential Entrepreneurship Education Offerings among Top Undergraduate Entrepreneurship Programs,” *Education + Training*, Vol. 58 No. 2, pp. 164-178, 2016.
- [11] I. Malganova and A. Rahkimova, “E-learning practice using Moodle by Leading Universities in the Russian Region”, *Academy of Strategic Management Journal*, Vol. 15, Special Issue, pp. 14-19, 2016.
- [12] C-N. Bodea, R.I. Mogoș, M-I. Dascălu, A. Purnuș and N.G. Ciobotar, “Simulation-Based E-Learning Framework for Entrepreneurship Education and Training”, *Amfiteatru Economic*, 17 (38), pp. 10-24, 2015.
- [13] H. Peng, Y. Su, Y., C. Chou and C. Tsai, “Ubiquitous Knowledge Construction: Mobile Learning Re-defined and a Conceptual Framework,” *Innovations in Education and Teaching International, Entrepreneurship Database* 46, 2, pp. 171-183, May 2009.
- [14] H. Al-Shihi and S.K. Sharma, “Neural Network Approach to Predict Mobile Learning Acceptance,” *Educ Inf Technol* 23, pp.1805–1824, 2018.
- [15] I. Darmawan, and B.E. Soetjipto, “The Implementation of Project-Based Learning to Improve Entrepreneurial Intention and Entrepreneurship Learning Outcome of Economics Education Students,” *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, Vol. 18, Issue. 10., Ver. VII, pp. 98-102, October 2016.
- [16] J. Yang, H. Pan, W. Zhou and R. Huang, “Evaluation of Smart Classroom from the Perspective of Infusing Technology into Pedagogy,” *Smart Learning Environment*, 5: 20, pp. 1-11, 2018.

La qualité de recrutement dans les entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie en Afrique centrale : Un levier pour le développement durable au Cameroun ?

[The recruitment quality in companies of water and energy sector in central Africa : A lever for sustainable development in Cameroon ?]

Ngnepi Nana Stéphanie Reine¹, Douanla Jean², and Essomme Innocent³

¹Doctorante en Faculté des sciences économique et gestion, Laboratoire de recherche en Management, Université de Dschang, Cameroon

²Professeur - Enseignant chercheur, Faculté des sciences économique et gestion, Université de Dschang, Cameroon

³Docteur - Enseignant chercheur, Faculté des sciences économique et gestion, Université de Dschang, Cameroon

Copyright © 2021 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 show the contribution of recruitment quality to the sustainable development of companies in the water and energy sector. So, data was collected by a questionnaire from 256 employees. These were analyzed using structural equation modeling. It emerges that recruitment quality partially influences Sustainable Development; because it has a positive and significant impact on environmental performance, and a negative but not significant impact on social performance. In addition, we have found that the introduction of a new recruit is decisive for the social climate quality that will prevail within it. Therefore, employees must be trained on the objectives of the company in its quest for sustainable development. And so, to know what they must undertake as a strategy to achieve these goals.

KEYWORDS: Strategy, efficiency, sustainability, environmental performance, social performance.

RESUME: L'objectif de cette étude est de montrer la contribution de la qualité de recrutement au développement durable des entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie au Cameroun. Alors, des données ont été collectées par questionnaire auprès de 256 employés de ces entreprises. Ces dernières ont été analysées au moyen de la modélisation en équations structurelles. Il en ressort que, la qualité de recrutement influence partiellement le Développement Durable; Car il impact de manière positive et significative la performance environnementale, et de manière négative mais non significative la performance sociale. En outre, on a constaté que, l'introduction d'une nouvelle recrue est déterminante pour la qualité de climat social qui règnera au sein de celle-ci. De ce fait, les employés doivent être formés sur les objectifs de l'entreprise dans sa quête vers le développement durable. Et ainsi, savoir ce qu'ils doivent entreprendre comme stratégie pour l'atteinte desdits objectifs.

MOTS-CLEFS: Stratégie, efficacité, pérennité, Performance environnementale, performance sociale.

1 INTRODUCTION

Le concept de développement durable captive de plus en plus d'attentions au cours de cette décennie ([1], [2]). Ce qui fait que, pour beaucoup de pays, il est devenu un enjeu stratégique, à tel point qu'il est admis qu'il constitue désormais une stratégie à part entière dans le modèle de croissance de l'entreprise [3]. Ainsi, depuis quelques années, une floraison de

discours, de rapports et de livres sur le développement durable dans les entreprises ou sur la responsabilité sociale des entreprises, se fait connaître. Ceux-ci traduisent la préoccupation croissante des entreprises d'investir dans les domaines social et environnemental.

Les secteurs de l'eau et de l'énergie en sont les plus concernés, et de plus en plus se situent au cœur des préoccupations actuelles sur les plans tant économique, social, qu'environnemental. En effet, l'accès à l'eau et à l'électricité est un problème majeur en Afrique en général et au Cameroun en particulier. Il suffit juste de s'intéresser à la situation qui prévaut actuellement au Cameroun en ce qui concerne son électrification : des coupures intempestives et démesurées; Ce qui conduit à des plaintes tant de la part des entreprises, que des particuliers, et aussi des ménages. Pourtant, le Cameroun, pays de l'Afrique centrale a un fort potentiel en ce qui concerne les ressources énergétiques. L'eau et l'électricité, sont devenues pour ce pays un luxe que même les privilégiés des grandes villes comme Yaoundé et Douala ne peuvent s'en offrir. Alors que, le potentiel hydroélectrique dudit pays apparaît être le meilleur après celui du Congo, en Afrique. Entre autre, suite aux études menées par le Ministère de l'Eau et de l'Energie en 2018, il s'est avéré que le taux d'électrification au Cameroun s'élève à environ 60%. Toutefois, ce taux se trouve très faible lorsqu'on sait que ce pays a le deuxième potentiel hydroélectrique d'Afrique subsaharienne. Ce qui vient davantage mettre l'accent sur le déficit énergétique auquel le dit pays fait face.

Ainsi, à partir des politiques gouvernementales, on constate la volonté des autorités publiques Camerounaises de s'arrimer aux problématiques du Développement Durable [4]. Il est reconnu que, les ressources humaines contribuent à atteindre les objectifs recherchés (ceux du développement durable dans notre cas), et à accroître les profits [5] de l'entreprise. De nos jours, une importance croissante est accordée aux ressources humaines; ce qui se présente comme l'un des développements les plus significatifs apparu récemment dans le domaine des entreprises [6]. De ce fait, la Gestion des Ressources Humaines suscite donc notre attention. Son challenge majeur se ramène avec cette nouvelle tendance, à une conciliation de la logique de performance économique avec les principes sociaux et environnementaux de la démarche du Développement Durable. Il est donc désormais question de placer l'Homme au centre de l'entreprise, en intégrant la RSE au niveau de la GRH, afin d'obtenir une gestion responsable des ressources humaines.

En effet, en nous intéressant aux actions qui touchent à la vie de l'employé, et particulièrement aux dimensions de son bien-être, nous nous rendons compte que le recrutement en est l'un des plus importants. L'intérêt porté à cette pratique de la GRH, part du constat que, avec la nouvelle réalité qu'est le Développement durable dans les entreprises, le recrutement est devenu un sujet en perpétuelle mutation avec des contingences dans de nombreux domaines. A ce propos, il est perçu comme un enjeu central pour l'entreprise, un élément phare de la fonction RH. Car il permet d'accroître l'effectif disponible, d'envisager un renouvellement de compétences et est considéré comme un investissement à long terme pour l'entreprise [7]. C'est en effet en effectuant un recrutement de qualité, que les entreprises seront en mesure d'obtenir du « sang neuf » nécessaire et approprié pour l'atteinte de leurs DD. Raison pour laquelle cette étude s'intéresse à la question de savoir quelle est la contribution de la qualité de recrutement dans le développement durable des entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie en Afrique Centrale plus précisément au Cameroun.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de rechercher la contribution de la qualité de recrutement dans le développement durable des entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie en Afrique Centrale. Le reste de cet article présente une revue sélective de la littérature. Ensuite, esquisse le modèle, la technique d'estimation et les données. Puis, analyse les résultats. Enfin, conclut et suggère quelques recommandations managériales.

2 ETAT DE L'ART

Plusieurs auteurs dans la littérature ([8], [9] et [10]), se sont intéressés à la question du recrutement. Et on retient avec Peretti [11] que, le recrutement est une opération ayant pour but de pourvoir à un poste. Et, au sens du développement durable, c'est donner une égalité de chance (aujourd'hui et demain) à tous les êtres humains (du moment où ces derniers possèdent des compétences requises) pour avoir accès au travail. Il s'agit donc de recruter sans aucune distinction quelconque des personnes en prenant en compte des égalités entre hommes et femmes, des différences sociales qui pourraient exister entre elles, des personnes handicapées et des personnes aux différences culturelles [12].

3 RAPPROCHEMENT ENTRE QUALITÉ DE RECRUTEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

La littérature révèle l'existence de plusieurs courants théoriques qui semblent montrer l'existence d'un effet plausible de la mise en œuvre des pratiques GRH sur l'accroissement de la performance au sens du développement durable, ainsi que sur la capacité des entreprises à développer de nouveaux procédés ou produits et à réussir leurs changements organisationnels

[13]. Partant des courants théoriques, trois approches empiriques voient le jour. Celles-ci établissent le lien entre les pratiques GRH et la performance dans le sens du développement durable.

3.1 L'APPROCHE UNIVERSALISTE

Allani-Soltan et al en 2004 [14], reconduisent l'idée des partisans de cette approche universaliste pour considérer, de manière indéniable le recours au paradigme universaliste comme capital dans la recherche des pratiques qui maximisent l'efficacité de la firme ([14], [15], [16], [17]). Car, de même que dans le cas de la majorité des sciences sociales, le contexte importe peu par rapport aux caractéristiques intrinsèques de l'organisation ([18], [19], [20], [21]). De ce fait, cette approche soutient que, peu importe le contexte d'affaires, des pratiques de GRH permettent de revoir dans le sens de l'amélioration, la manière dont les ressources humaines sont stratégiquement gérées au sein des organisations et, par voie de conséquence, d'accroître la performance de la firme ([15], [21], [22]) dans le sens de la quête vers le développement durable. De même Arcand et Morceau, soutiennent l'idée que la perspective universaliste correspond au raisonnement le plus simple en gestion stratégique des ressources humaines (GSRH). En ce qui concerne ce paradigme, des pratiques de GRH existeraient et qui, peu importe le contexte d'affaires, pourraient aider les firmes à accroître de manière significative leur niveau de performance sociale. Même si ces dernières diffèrent d'un auteur à l'autre, le rôle clé des pratiques RH est tout de même reconnu dans l'amélioration de la performance, voir du développement durable de la firme [23].

Si une certaine divergence venait encore à exister pour ce qui est de l'identification des pratiques «performantes» de GRH, il se dégage tout de même un consensus lorsque vient le moment de justifier les assises théoriques sur lesquelles repose l'hypothèse universaliste des RH ([24], [25], [26]). En fait, deux arguments théoriques servent de pierre d'assise aux tenants de l'approche universaliste des RH [23]).

Plusieurs théories à savoir la théorie des ressources [27], la théorie du capital humain [28], issues autant de la stratégie, de la finance, de l'économie que de la psychologie [29], ont contribué à développer un intérêt grandissant à l'égard de la gestion des ressources humaines en démontrant la contribution de certaines pratiques à l'atteinte de l'efficacité organisationnelle, et donc au développement durable de la firme. Car, ces disciplines prise individuellement a donné des arguments à la mise sur pied d'une perspective universaliste qui veut qu'à chaque fois qu'une pratique de gestion des ressources humaines est mise en place, elle exerce un impact positif sur la performance de l'entreprise ([15], [30], [31]), et donc sur son développement durable.

3.2 L'APPROCHE CONTINGENTE

Ici il est soutenu que, les pratiques et politiques de ressources humaines ne sont capitales pour la firme que dans la mesure où elles sont correctement alignées sur les grandes orientations de l'organisation ([32], [33]). En abordant la réflexion sous le même angle, Liouville et Bayad en 1998 [34], ont mis sur pied un lien proche entre les différentes performances (économique, organisationnelle et sociale). L'analyse de la corrélation faite entre les variables des pratiques RH et la performance amène à mettre en exergue le fait que, bien qu'il existe une corrélation positive et significative entre les variables, elle ne veut pas nécessairement dire qu'il existe une relation de dépendance entre elles car certains éléments peuvent impacter les relations de dépendance ([35], [36]). C'est fort de ceci que, nous avons décidé d'étudier isolément une seule pratique de la gestion de ressources humaines dans ce travail: la qualité de recrutement. Tidjani et al en 2010 [37], soulignent dans cette réflexion que, pour mieux théoriser la relation entre les pratiques RH et les objectifs de l'organisation (développement durable dans notre cas), il est important d'analyser le processus par lequel ces pratiques sont mobilisées. Dans le contexte actuel où toutes les entreprises évaluent l'impact de leur activité sur les différentes parties prenantes, la qualité de recrutement constitue un levier d'action sur le développement durable, tout comme les RH et leur gestion constituent des leviers d'action sur la performance organisationnelle [38]. Au regard de cette importance que revêt la GRH dans les organisations, l'analyse de l'apport de la qualité de recrutement au développement durable devient une nécessité.

3.3 L'APPROCHE CONFIGURATIONNELLE

Ce paradigme conduit à l'idée d'un processus de décision holistique et incrémental. Comme cela est le cas dans le processus de recrutement. Les configurations, peuvent être retenues comme un ensemble de multiples liens (non linéaires) et en interaction entre les éléments de la stratégie; et les grappes, d'ensemble d'éléments qui constituent le processus de recrutement; une architecture susceptible d'évoluer au cours du temps [39], pour atteindre un niveau maximal d'efficacité. Alors, ce paradigme postule que plusieurs configurations peuvent conduire à un niveau de performance maximal, au moyen du principe d'équifinalité. Ces configurations ne doivent pas être perçues comme étant des catégories immuables dans lesquelles doivent venir s'inscrire les organisations, mais comme des profils typiques dont les organisations se rapprochent

plus ou moins [14]. Le fait de regrouper les éléments du processus de recrutement en un système cohérent remonte à quelques décennies et plus précisément aux travaux de Péretti [40].

Fort de tout ceci, cette approche de configuration ([41], [42], [43]), enfin, s'attache à mettre en valeur des ensembles de pratiques plutôt que des pratiques individuelles. Suivant cette approche, les pratiques de GRH pourraient avoir un effet synergique (renforcement mutuel) entre elles. Cet effet de renforcement mutuel entre les pratiques, ajouté à leur interaction avec la stratégie, pourrait conduire à une meilleure performance de l'entreprise. Dans le même sens, les éléments du processus de recrutement se renforcent mutuellement. Ainsi, cette synergie entre les éléments de ce processus combinée à la stratégie pourrait conduire au développement durable de l'entreprise.

4 SYNTHÈSE MÉTHODOLOGIQUE

4.1 ÉCHANTILLON

La population de cette étude est constituée des personnes qui exercent dans les entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie des régions du Nord, de l'Adamaoua, du Centre, de l'Ouest et du Littoral au Cameroun. La méthode d'échantillonnage est celle des tirages aléatoires simples. Afin de respecter les exigences relatives à la taille de l'échantillon, nous avons constitué un échantillon de 256 salariés des entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie au Cameroun. Et les variables de l'étude sont: la qualité de recrutement et le développement durable.

Dans la littérature consacrée au sujet, l'on s'est intéressé aux travaux de Maurel, C et Tensaout, M en 2014 [44], qui mesurent le développement durable (la performance globale) à partir de deux dimensions: la performance sociale et la performance environnementale. Chacune de ces dimensions est évaluée respectivement en quatre (04) et cinq (05) items, qui se mesurent sur une échelle de Likert à cinq (05) points. Et pour ce qui est de la qualité de recrutement, l'opérationnalisation s'est faite en nous servant particulièrement des travaux de Peretti [40] et Lethielleux [45]. Ainsi, les hypothèses suivantes en découlent:

- H₁: la qualité de recrutement a une influence positive et significative sur la performance environnementale.
- H₂: la qualité de recrutement a une influence positive et significative sur la performance sociale.

Cette étude étant quantitative et les données primaires, le choix de l'instrument de collecte des données a donc été le questionnaire. Et La procédure d'analyse des données utilisée comporte, les analyses factorielles exploratoires (AFE) (l'ACP pour ce qui est de cette étude), et confirmatoires (AFC) des différentes échelles de mesure, et enfin le test des hypothèses proprement dit (les méthodes d'équations structurelles dans notre cas (MES)).

4.2 MODÈLE DE RECHERCHE

Dans cette étude, la méthode d'équations structurelles a été adoptée. Cette méthode a pour particularité de tester de manière simultanée, un réseau de relations entre plusieurs variables latentes. C'est-à-dire, toutes les hypothèses mises en exergue dans ce travail, sont testées simultanément dans le même modèle structurel. Lequel modèle se présente sous la forme suivante:

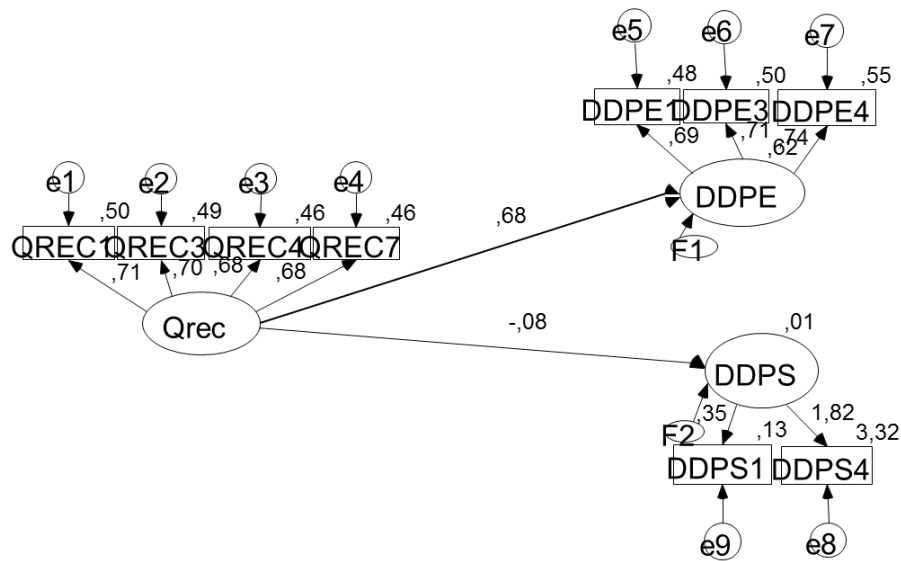


Fig. 1. Modèle de recherche

4.3 ÉQUATIONS DU MODÈLE

✓ Avec le modèle structurel

$$Y_1 = -0.05609x_1 - 0.0553x_2 - 0.05372x_3 - 0.05372x_4 + \epsilon$$

$$Y_2 = 0.47925x_1 + 0.4725x_2 + 0.459x_3 + 0.459x_4 + \epsilon$$

Avec: Y_i , les dimensions du développement durable

- X_i , les différentes variables qui permettent de copter la qualité de recrutement.
- ϵ , le terme d'erreur.

✓ Avec le modèle mesure

$$\text{C'est-à-dire, } Y = 0.71x_1 + 0.70x_2 + 0.68x_3 + 0.68x_4 + \epsilon$$

Avec: Y , la variable qui représente le recrutement

X_i , les différentes variables qui permettent de mesurer le recrutement.

5 SYNTHÈSE MÉTHODOLOGIQUE

Les tests d'échelles de mesure que nous présentons dans cette étude, ont pour but de déterminer leurs structures factorielles en contexte camerounais. Ainsi, nous débuterons par les résultats des analyses factorielles exploratoires avant de nous lancer dans les analyses confirmatoires.

5.1 RÉSULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE EXPLORATOIRE (AFE)

Pour ce qui est de ce travail, nous avons réalisé plusieurs analyses factorielles exploratoires bien distinctes. Dans l'optique de garantir une bonne validité discriminante, les AFE ont été faites en plusieurs itérations. Par souci de concision, nous présenterons ici uniquement les résultats concernant la dernière itération.

• STRUCTURE FACTORIELLE DE LA QUALITE DE RECRUTEMENT

Toutes les corrélations anti images sont supérieures à 0,50. Après deux itérations, et conformément aux critères des communautés et de la contribution factorielle, nous aboutissons à la structure factorielle suivante:

Tableau 1. Structure factorielle de la qualité de recrutement

Items restants au terme de l'AFE	Communautés	Contributions factorielles
S1Q1	0,624	0,790
S1Q3	0,602	0,776
S1Q4	0,602	0,776
S1Q7	0,600	0,774
Alpha de Crombach 0,784	KMO 0,789	
	Significativité du test de Bartlett 0,000	
	Variance totale expliquée 60,703	

Source: auteur

On peut donc faire la remarque selon laquelle, cette structure factorielle est globalement satisfaisante. Car tous les critères de validité d'une AFE sont respectés; c'est-à-dire toutes les valeurs excèdent les seuils retenus pour cette étude.

• STRUCTURE FACTORIELLE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

En ce qui concerne cette structure factorielle, toutes les corrélations anti images sont supérieures à 0,50. Il est bon de souligner ici que, d'entrée de jeux aucun item n'est rejeté. Et ce n'est qu'après deux itérations que la meilleure structure factorielle apparaît. Celle-ci se présente comme suit:

Tableau 2. Structure factorielle du développement durable

Items restants au terme de l'AFE	Communautés	Contributions factorielles	
		Axe 1	Axe 2
S3Q1A	0,824	0,825	
S3Q4A	0,826	0,821	
S3Q1B	0,674	0,816	
S3Q3B	0,681		0,908
S3Q4B	0,666		0,906
Alpha de Crombach PE 0,757	KMO 0,603		
	Significativité du test de Bartlett 0,000		
Alpha de Crombach PS 0,760	Variance totale expliquée 73,406		

Source: auteur

Nous remarquons que la totalité des critères de validité d'une AFE sont respectés. Donc toutes les valeurs excèdent les seuils retenus; on peut à cet effet dire que cette structure factorielle est globalement satisfaisante.

5.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE CONFIRMATOIRE (AFC)

Le principe à ce niveau consiste à faire une analyse confirmatoire sur les résultats obtenus via l'AFE, dans le but de ne retenir que la structure factorielle qui s'ajuste le mieux aux données. Dans le souci d'une concision, nous ne présentons ici que les indices d'ajustement des modèles issus de l'AFE ainsi que de ceux des modèles alternatifs.

• L'AFC DE LA STRUCTURE FACTORIELLE DE LA QUALITE DE RECRUTEMENT

Deux modèles sont confrontés relativement à la qualité de recrutement: le modèle théorique à sept (07) items et celui à quatre (04) items issu de l'ACP. Les indices d'ajustement sont consignés dans le tableau 3 qui suit:

Tableau 3. Résultats de L'AFC de mesure de la qualité de recrutement

	Indices absolus		Indices incrémentaux		Indices de parcimonie	
	AGFI	RMSEA	TLI	CFI	χ^2 / ddl	AIC
Seuil	>0,90	<0,08	>0,90	>0,90	Le plus faible possible compris entre 1 et 5	Le plus faible possible
Modèle théorique	0,963	0,025	0,992	0,994	1,165	44,311
Modèle issu de L'ACP	0,989	0,000	1,010	1,000	0,570	17,140

Source: auteur

Le modèle à quatre items, issu de l'AFE présente les meilleurs indices d'ajustement par rapport au modèle théorique, celui de sept (07) items. Son coefficient Rho de Joreskog est bon (0,660). Etant donné que nous avons à faire à une structure unidimensionnelle, il ne sert à rien de vérifier la validité convergente et la validité discriminante.

• L'AFC DE LA STRUCTURE FACTORIELLE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Trois modèles sont confrontés relativement au développement durable: le modèle théorique à neuf (09) items, le modèle unidimensionnel à neuf (09) items et celui à cinq (05) items issu de l'ACP. Les indices d'ajustement sont consignés dans le tableau qui suit:

Tableau 4. Résultats de L'AFC de mesure du développement durable

	Indices absolus		Indices incrémentaux		Indices de parcimonie	
	AGFI	RMSEA	TLI	CFI	χ^2 / ddl	AIC
Seuil	>0,90	<0,08	>0,90	>0,90	Le plus faible possible compris entre 1 et 5	Le plus faible possible
Modèle théorique	0,909	0,076	0,903	0,930	2,477	102,411
Modèle unidimensionnel	0,482	0,229	0,127	0,346	14,324	422,749
Modèle issu de L'ACP	0,997	0,003	1,000	1,000	1,002	25,009

Source: auteur

Le modèle issu de l'AFE présente les meilleurs indices d'ajustement par rapport aux autres modèles théorique et unidimensionnel, ayant respectivement neuf (09) items chacun. Ses coefficients Rho de Joreskog sont tous bons (0,691 pour la performance environnementale et 0,703 pour la performance sociale). Etant donné que nous avons à faire à une structure bidimensionnelle, il apparaît important de vérifier les validités convergentes et les validités discriminantes. Nous remarquons que les validités convergentes sont toutes bonnes; car les contributions factorielles sont significatives à 5%, et le rho de validité convergente est respectivement de 0,528 pour la performance environnementale et de 0,548 pour la performance sociale. Par ailleurs on observe une corrélation de -0,01 qui existe entre les deux dimensions. Le carré de ce coefficient de corrélation (0,0001) est inférieur au Rho de validité convergente; ce qui traduit une présence de validité discriminante, qui se trouve dans le tableau qui suit:

Tableau 5. Détermination de la validité discriminante

	Performance sociale	Performance environnementale
Validité convergente	0,548	0,528
Performance sociale	1	
Performance environnementale	$(-0,1)^2 = 0,0001$	1

Source: auteur

5.3 RÉSULTATS DES TESTS D'HYPOTHÈSES

Tableau 6. Résultats issus de l'AFC

Chi-square = 138,303; GFI=0,943; AGFI= 0,917; RMSEA= 0,035							
Degrees of freedom = 105; TLI= 0,962; CFI= 0,971							
Probability level = 0,016; $\chi^2/ddl=1,317$; AIC= 234,303							
Regression Weights							
		Estimate	S.E.	C.R.	P	Label	
DDPE	<--	Qrec	0,552	0,107	5,155	0,000	par-12
DDPS	<--	Qrec	-0,148	0,111	-1,335	0,182	par-13

Standardized Regression Weights Estimate		
DDPE	<--	Qrec 0,675
DDPS	<--	Qrec -0,079

Source: auteur

Pour cette recherche, ce modèle structurel ne nous intéresse pas dans sa totalité. Car cette étude ne questionne que la relation qui existe entre la qualité de recrutement et le développement durable. Pour cette raison, nous ne nous focaliserons sur cette figure qu'à analyser le lien qui existe entre la qualité de recrutement et le développement durable.

5.4 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET DÉCISIONS RELATIVES AUX HYPOTHÈSES

Nous faisons le constat selon lequel le modèle testé s'ajuste bien aux données empiriques. En effet, les indices d'ajustement respectent les seuils recommandés. C'est ainsi que le RMSEA = 0,035 < 0,080; le $\chi^2/ddl = 1,317 < 5$; le CFI = 0,971 > 0,90 et le GFI = 0,943 > 0,90. En outre, les hypothèses de recherche sont partiellement confirmées. Les détails relatifs à ces hypothèses sont présentés ci-dessous.

En nous intéressant à l'hypothèse 1, nous avons un coefficient standardisé de 0,552 avec une significativité à 5% (0,000). H_1 est alors acceptée et nous concluons que la qualité de recrutement a une influence positive et significative sur la performance environnementale. En ce qui concerne H_2 , le coefficient structurel standardisé est de -0,148, mais il n'est pas significatif à 5% (0,182). H_2 est donc infirmée et donc rejetée, et nous tirons la conclusion selon laquelle la qualité de recrutement a une influence négative et non significative sur la performance sociale.

En somme, considérant le fait que H_1 soit confirmée et H_2 rejetée, nous parvenons à la conclusion que l'hypothèse est partiellement confirmée. Donc la qualité de recrutement influence partiellement le développement durable.

6 DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la qualité de recrutement a une influence négative et non significative sur la performance sociale. Nous constatons que ce résultat ne corrobore pas avec ceux obtenus par Bandibeno I. K. et Nkonga L [46], dans une étude portant sur les communes au Cameroun. Encore moins avec ceux obtenus par Azmy Ahmad [47]. Relativement à ce résultat, il a été découvert lors des enquêtes que, la majeure partie des répondants affirmait que le recrutement dans leur entreprise ne suit pas toujours toutes les étapes du processus qui leur a été présenté. En effet, d'aucun explique que des nouvelles recrues sont très souvent affectées dans leurs services sans qu'une annonce au préalable ne leur ait été faite; ce qui ne facilite pas l'accueil et l'intégration de celles-ci encore moins le bon climat social, et peut à la longue être source de conflits sociaux et occasionner une absence d'échanges des savoirs entre salariés. En outre, la description du poste n'est en général pas bien faite en avance encore moins les tâches à accomplir au poste en question. Ce qui rend davantage complexe l'adéquation entre potentiel individuel et poste, et pourrait justifier ce résultat.

Pour ce qui est de la relation entre la qualité de recrutement et la performance environnementale, les résultats obtenus montrent qu'elle est positive et significative. Ce résultat corrobore avec celui obtenu par Lacoursière R. et al en 2005 [48], ainsi que celui obtenu par Kouskous A. et Nia H en 2018 [7]. En effet, ce résultat peut se justifier par le fait que: sachant que la qualité de recrutement est un processus qui a pour objectif d'assurer une bonne adéquation entre l'individu et le poste, lors de l'enquête il a été constaté que, quand cette propriété venait à être respectée, alors l'individu au poste était plus en même de comprendre la vision de développement durable dans laquelle l'entreprise s'inscrit, et de ce fait de mettre sur pied à son

niveau, une stratégie environnementale pour que l'entreprise ne subisse pas les règles environnementales et légales de son secteur d'activité. Ainsi, il en découlait une intégration presque automatique des facteurs environnementaux dans la chaîne d'approvisionnement et de production et une coopération durable avec les fournisseurs, car l'individu en question a la compétence requise au poste pour y veiller.

7 CONCLUSION

Conclusion Dans cette étude, il était question de mettre en exergue la relation qui existe entre la qualité de recrutement et le développement durable. Après avoir étayé une bonne partie de la littérature en ce qui concerne le lien entre ces éléments mobilisés, nous avons convoqué les théories qui étaient nécessaires à cet effet. Ainsi, deux hypothèses ont été testées de manière simultanée via la modélisation en équations structurelles. Les résultats obtenus montrent que la première hypothèse est confirmée: la qualité de recrutement a une influence positive et significative sur la performance environnementale. Pour ce qui est de la seconde hypothèse, elle est infirmée car la qualité de recrutement a une influence négative et non significative sur la performance sociale. Il est donc suggéré à l'entreprise de faire une annonce au moins au service concerné, de l'arrivée de la nouvelle recrue, afin que des dispositions soient prises. Alors, pour envisager une éventuelle continuité de ce travail, il est proposé quelques pistes de recherche: Qualité de recrutement et performance financière des entreprises du secteur de l'eau et de l'énergie en Afrique Centrale.

REFERENCES

- [1] ELOUNDOU, Gilles Célestin Etoundi. Éthique et développement durable dans les PME camerounaises. *Mondes en développement*, no 4, p. 27-41, 2014.
- [2] Moskolai, M. M. La Responsabilité Sociétale des Entreprises au Cameroun: miroir aux alouettes ou évidence?. *Revue de Management et de Stratégie*, 2016, vol. 3, no 4, p. 53-71, 2016.
- [3] HATTABOU, Anas et LOUITRI, Abdenbi. Développement durable et management des PME: une analyse en termes de proximité. Illustration par un cas du secteur Textile-Habillement. *Management Avenir*, no 3, p. 122-142, 2011.
- [4] MOSKOLAÏ, Doumagay Donatienne, TSAPI, Victor, et FEUDJO, Jules Roger. État des lieux de la Responsabilité Sociétale des Entreprises au Cameroun. *Management Avenir*, no 4, p. 139-162, 2016.
- [5] MKAOUER, Safa. Gestion des ressources humaines et responsabilité sociétale des entreprises en Tunisie. *Notes et Analyses de l'ITCEQ*, no 23, 2014.
- [6] EKWOABA, Joy O., IKEIJE, Ugochukwu U., and UFOMA, Ndubuisi. The Impact of Recruitment and Selection Criteria on Organizational Performance. 2015.
- [7] KOUSKOUS, Adil et NIA, Hafida. Impact du recrutement et du roulement du personnel sur la performance financière de l'entreprise: cas des régions de distribution au Maroc. *Repères et Perspectives Economiques*, vol. 2, no 2, 2018.
- [8] VENCATACHELLUM, Indeeran et MATHUVIRIN, Nadaraj. Investigating HRM practices role towards customer service excellence in the Mauritian Hotel Industry. In: *International Research Symposium in Service Management*. 2010.
- [9] MAGNAN, Valérie, DIOT, Laurence-Marie, et TRENVOUEZ, Arnaud. Le recrutement: quelles pratiques actuelles?: résultats d'enquête pratiques auprès des professionnels du recrutement. *Julhiet*, 2012.
- [10] CHAMENI NEMBUA, Célestin et FOMBA KAMGA, Benjamin. Rapport général de l'étude sur les déterminants de la performance des entreprises en Afrique subsaharienne francophone: cas du Cameroun, de la Côte d'Ivoire et du Sénégal; rapport du Cameroun. 2015.
- [11] Peretti, J. M. *Gestion des ressources humaines*, 18e édition, 2012.
- [12] BEAUPRÉ, Daniel, CLOUTIER, Julie, GENDRON, Corinne, et al. *Gestion des ressources humaines, développement durable et responsabilité sociale*. *Revue internationale de psychosociologie*, vol. 14, no 33, p. 77-140, 2008.
- [13] ALLANI-SOLTAN, Nada. L'effet des pratiques de gestion des ressources humaines sur la performance des entreprises françaises. Thèse de doctorat. Nancy 2, 2003.
- [14] ALLANI-SOLTAN, Nada, BAYAD, Mohamed, et ARCAND, Michel. Etude de l'efficacité de la GRH des entreprises françaises: l'approche configurationnelle. *Actes du*, vol. 15, 2004.
- [15] PFEFFER, Jeffrey. *Competitive advantage through people: Unleashing the power of the work force*. 1994.
- [16] HUSELID, Mark A. The impact of human resource management practices on turnover, productivity, and corporate financial performance. *Academy of management journal*, 1995, vol. 38, no 3, p. 635-672, 1995.
- [17] MARTELL, Kathryn, GUPTA, Anil, et CARROLL, Stephen J. Human resource management practices, business strategies, and firm performance: A test of strategy implementation theory. *Irish Journal of Management*, vol. 17, no 1, p. 18, 1996.
- [18] HICKSON, David J., HININGS, Christopher R., MCMILLAN, Charles J., et al. The culture-free context of organization structure: A tri-national comparison. *Sociology*, vol. 8, no 1, p. 59-80, 1974.

- [19] PUGH, Derek S. et HICKSON, David J. *Organizational Structure in Its Context: The Aston Programme I* (vol. 1). Westmead: Saxon House, 1976.
- [20] HICKSON, David J., HININGS, Christopher R., MCMILLAN, Charles J., et al. The culture-free context of organization structure: A tri-national comparison. *Sociology*, vol. 8, no 1, p. 59-80, 1974.
- [21] PFEFFER, Jeffrey, et al. Seven practices of successful organizations. *California management review*, vol. 40, no 2, p. 97, 1998.
- [22] PFEFFER, Jeffrey et VEIGA, John F. Putting people first for organizational success. *Academy of management perspectives*, vol. 13, no 2, p. 37-48, 1999.
- [23] ARCAND, Michel, ARCAND, Guy, BAYAD, Mohamed, et al. Systemes de gestion des ressources humaines et performance organisationnelle. *Annals of public and cooperative economics*, vol. 75, no 3, p. 497-524, 2004.
- [24] BECKER, Brian et GERHART, Barry. The impact of human resource management on organizational performance: Progress and prospects. *Academy of management journal*, vol. 39, no 4, p. 779-801, 1996.
- [25] BOXALL, Peter et STEENEVELD, Mike. Human resource strategy and competitive advantage: A longitudinal study of engineering consultancies. *Journal of Management studies*, vol. 36, no 4, p. 443-463, 1999.
- [26] WRIGHT, Patrick M. et MCMAHAN, Gary C. Theoretical perspectives for strategic human resource management. *Journal of management*, vol. 18, no 2, p. 295-320, 1992.
- [27] BARNEY, Jay B. Resource-based theories of competitive advantage: A ten-year retrospective on the resource-based view. *Journal of management*, vol. 27, no 6, p. 643-650, 2001.
- [28] ARMSTRONG, Michael. *A handbook of human resource management practice*. Kogan Page Publishers, 2006.
- [29] BECKER, Brian E. et HUSELID, Mark A. Human resources strategies, complementarities, and firm performance. SUNY Buffalo: Unpublished manuscript, 1998.
- [30] DELERY, John E. et DOTY, D. Harold. Modes of theorizing in strategic human resource management: Tests of universalistic, contingency, and configurational performance predictions. *Academy of management Journal*, vol. 39, no 4, p. 802-835, 1996.
- [31] CHRETIEN, L., ARCAND, G., TELLIER, G., et ARCAND, M. Impacts des pratiques de gestion des ressources humaines sur la performance organisationnelle des entreprises de gestion de projets. *Revue internationale sur le travail et la société*, vol. 3, no 1, p. 107-128, 2005.
- [32] SCHULER, Randall S. et JACKSON, Susan E. Linking competitive strategies with human resource management practices. *Academy of Management Perspectives*, vol. 1, no 3, p. 207-219, 1987.
- [33] SCHULER, Randall S. et JACKSON, Susan E. Organizational strategy and organization level as determinants of human resource management practices. *People and Strategy*, vol. 10, no 3, p. 125, 1987.
- [34] LIOUVILLE, Jacques et BAYAD, Mohamed. Human resource management and performances: Proposition and test of a causal model. *Human Systems Management*, vol. 17, no 3, p. 183-192, 1998.
- [35] RAZOUK, Abdelwahab et BAYAD, Mohamed. La gestion stratégique des ressources humaines dans les PME françaises: quelle place et quelle évolution?. *Revue internationale PME Économie et gestion de la petite et moyenne entreprise*, vol. 23, no 2, p. 131-157, 2010.
- [36] Diouf, I. D. Les rôles joués par la GRH dans le processus de création de valeur pour expliquer la relation entre les pratiques de GRH et la performance: cas de deux PME sénégalaises, communication. *Congrès de l'Association Internationale en Management Stratégique*, Clermont-Ferrand, 10 (11), 2013.
- [37] TIDJANI, B., SIMEN, S. F., DIOP, B., & DIOUF, D. L'Art de construire une GRH qui compte: le Cas d'un Centre Hospitalier au Sénégal, 2008.
- [38] SIMON, Alexandra, FALL, Amar, et CARASSUS, David. La construction d'un baromètre pour mesurer la «performance RH» en milieu public: une application dans le contexte local. *Gestion et management public*, vol. 3, no 1, p. 5-31, 2015.
- [39] Miller, P. Strategic HRM: what it is and what it is not. *Personnel Management*, (February), 46-51, 1989.
- [40] PERETTI J.M. *Gestion des ressources humaines*, Vuibert, paris, 17ème édition, 2011.
- [41] DOTY, D. Harold, GLICK, William H., et HUBER, George P. Fit, equifinality, and organizational effectiveness: A test of two configurational theories. *Academy of Management journal*, vol. 36, no 6, p. 1196-1250, 1993.
- [42] MEYER, Alan D., TSUI, Anne S., et HININGS, C. Robert. Configurational approaches to organizational analysis. *Academy of Management journal*, vol. 36, no 6, p. 1175-1195, 1993.
- [43] LEPAK, David P. and SNELL, Scott A. The human resource architecture: Toward a theory of human capital allocation and development. *Academy of management review*, vol. 24, no 1, p. 31-48, 1999.
- [44] MAUREL, Christophe et TENSAOUT, Mouloud. Proposition d'un modèle de représentation et de mesure de la performance globale. *Comptabilité-Contrôle-Audit*, vol. 20, no 3, p. 73-99, 2014.
- [45] LETHIELLEUX, Laëtitia. *L'essentiel de la gestion des ressources humaines: 2013-2014*. 2013.

- [46] BANDIBENO, I. K., et NKONGA, L. L'Effet des Pratiques Ressources Humaines sur la Performance Organisationnelle des Communes au Cameroun, 2018.
- [47] AZMY, Ahmad et NO, JI Swadarma Raya. Recruitment Strategy to Hire The Best People for Organization. Journal of Management and Leadership, vol. 1, no 2, 2018.
- [48] LACOURSIÈRE, Richard, FABI, Bruno, ST-PIERRE, Josée, et al. Effets de certaines pratiques de GRH sur la performance de PME manufacturières: vérification de l'approche universaliste. Revue internationale PME Économie et gestion de la petite et moyenne entreprise, vol. 18, no 2, p. 43-73, 2005.

Contribution à la sécurité alimentaire et à la nutrition: Utilisation du four amélioré (Thiaroye) dans la réduction de la teneur en HAP de deux espèces de poissons (thon et mâchoiron) fumés en Côte d'Ivoire

[Contribution to food security and nutrition: Use of the improved oven (Thiaroye) to reduce the PAH content of two species of fish (tuna and catfish) smoked in Côte d'Ivoire]

Aïssatou Coulibaly¹, Djakalia Bouatené¹, Oula Djibril Traoré¹, Sory Karim Traoré², and N'Guessan Georges Amani¹

¹Laboratoire de biochimie alimentaire et des produits tropicaux, UFR Sciences et Technologies des Aliments (UFR STA), Université Nangui Abrogoua 02, BP 801 Abidjan 02, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Chimie de l'Environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR SGE), Université Nangui Abrogoua 02, BP 801 Abidjan 02, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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: Smoking is a processing operation that has been practiced for generations in many parts of the world, for the preservation of products such as meat and fish. However, when smoking fish, the smoke carries polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) which have an impact on health. The objective of this study was to assess the performance of the Thiaroye oven in reducing the PAH levels of two species of smoked fish in Côte d'Ivoire. The smoking of the fish was carried out at the Guéssabo smoking site and the samples were sent to the laboratory for analysis. The fish samples were divided into two lots. One batch was smoked with the traditional oven and the second batch was smoked with the Thiaroye oven. The fuel used was redwood (*Cassine Orientalis*). The PAH contents were evaluated by high performance liquid chromatography - fluorescence detection. The PAH contents, in particular Benzo (a) Pyrene, Chrysene, Benzo (a) Anthracene, and Benzo (b) Fluoranthene are different depending on the species of fish and the smoking technology applied. According to the analysis results of the two species of fish, and by referring to the European standards which is 2 µg / kg for B (a) P and 12 µg / kg for the sum of the PAHs, it emerged that the catfish was more contaminated than tuna regardless of the technology applied. However, the results showed a reduction of 61.70% for B (a) P and 86.73% for the sum of PAHs with tuna and 73.93% for B (a) P and 98.44 % for the sum of the PAHs in the case of the catfish. The smoking of fish in the Thiaroye oven leads to a considerable decrease in the PAHs content.

KEYWORDS: Smoked fish, tuna, catfish, Thiaroye oven, polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs.

RESUME: Le fumage est une opération de transformation pratiquée depuis des générations dans de nombreuses régions du monde, pour la conservation des produits tels que la viande et le poisson. Cependant lors du fumage des poissons, la fumée véhicule des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) qui ont un impact sur la santé. L'objectif de cette étude était d'évaluer les performances du four Thiaroye sur la réduction des teneurs en HAP de deux espèces de poissons fumés en Côte d'Ivoire. Le fumage des poissons a été effectué sur le site de fumage de Guéssabo et les échantillons ont été acheminés au laboratoire pour analyse. Les échantillons de poisson ont été répartis en deux lots. Un lot a été fumé avec le four traditionnel et le second lot a été fumé avec le four Thiaroye. Le combustible utilisé était le bois rouge (*Cassine Orientalis*). Les teneurs en HAP ont été évaluées par chromatographie liquide à haute performance - détection par fluorescence. Les teneurs en HAP notamment en Benzo (a) Pyrène, en Chrysène, en Benzo (a) Anthracène, et en Benzo (b) Fluoranthène sont différentes en fonction de l'espèce de poisson et de la technologie de fumage appliquée. Selon les résultats d'analyse des deux espèces de poissons, et en se référant aux normes européennes qui est de 2 µg/kg pour le B (a) P et de 12 µg/kg pour la somme des HAP, il est ressorti que le mâchoiron était plus contaminé que le thon quel que soit la technologie appliquée. Toutefois, les résultats ont montré une réduction de 61,70 % pour le B (a) P et de 86,73 % pour la somme des HAP avec le thon et de 73,93 % pour le B (a) P, 98,44 % pour la somme des HAP dans le cas du mâchoiron. Le fumage de poisson au four Thiaroye entraîne une diminution considérable de la teneur en HAP.

MOTS-CLÉS: Poisson fumé, thon, mâchoiron, four Thiaroye, hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP.

1 INTRODUCTION

La proportion de poisson utilisée pour la consommation humaine directe a augmenté significativement de 67 % depuis 1960 [1]. En effet, le poisson occupe une place importante dans l'alimentation humaine. En 2018, environ 88 % (156 millions de tonne) de la production mondiale a été utilisée pour la consommation humaine directe [1]. Le poisson est une source importante de protéines de bonne valeur biologique, des minéraux et des acides gras essentiels [1], [2].

Cependant, le poisson est une denrée alimentaire très riche en eau donc facilement périssable [1], [3], [4]. Sa conservation dans certains pays chauds est difficile en raison du manque d'infrastructures adéquates et du fait des conditions climatiques et d'environnement qui concourent à sa dégradation en quelques heures [3] – [5].

Le fumage à chaud du poisson est une activité importante dans les petites et moyennes unités post-capture du poisson des pays en développement [6]. C'est une opération de transformation pratiquée depuis des générations dans de nombreuses régions du monde pour la conservation des produits tels que la viande, le poisson ou le fromage [7] et pour la diversification alimentaire en conférant une saveur. Il est souvent associé à une cuisson, un séchage et/ou un salage. En Afrique de l'Ouest, le fumage permet de stabiliser des denrées alimentaires périssables et ainsi les acheminer des sites de capture ou d'élevage vers les zones de consommation [2].

En Côte d'Ivoire, le poisson occupe une place importante dans l'alimentation avec une part de 50 % de l'apport en protéine animal et représente entre 15 et 16 Kg / an de consommation par habitant [8]. Dans le pays 20 à 30% de la production locales marines et d'eau douce sont consommées sous forme de poisson fumé. Le poisson fumé est préféré par les populations locales à d'autres sources de protéines telles que le lait, la viande et les œufs, en raison de sa saveur, de ses bienfaits nutritionnels, de son prix compétitif et de sa durée de conservation qui oscille entre trois et six mois.

En Afrique en particulier une diversité de four de fumage, du traditionnel aux modèles plus améliorés de fours, sont ainsi utilisés [6]. L'utilisation des fours traditionnels pour le fumage permet un contact direct entre le poisson et la fumée. Les fonctions préservatrices, d'aromatisation et de coloration sont bien corrélées à l'apport de fumée. Toutefois la fumée véhicule des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) connus pour avoir un effet cancérigène chez l'homme [9]. Les HAP sont considérés comme un problème de santé publique dans le monde. Ils sont des produits de la combustion incomplète de matériaux comme le charbon, le pétrole, le gaz, le bois et la viande grillée au charbon de bois. Les HAP peuvent se former dans les aliments pendant le traitement thermique [10]. L'apparition des HAP est intimement dépendante des conditions de transformation des denrées alimentaires.

En Afrique des unités à petite échelle ont été suspendues d'exportation de leurs poissons fumés à chaud vers le marché lucratif de l'Union européenne, en raison des niveaux anormalement élevés d'HAP [6]. À cela s'ajoute des risques sanitaires (maux de tête, maux de hanche, brûlures sur le corps) auxquels les professionnels du métier sont confrontés à cause de l'utilisation des fours traditionnels.

Différents types de fours ont été utilisés pour produire du poisson fumé: en passant des fours traditionnels (four rond avec boue, fours en tonneau) aux fours améliorés (multi-claie Chorkor, Banda, Altona, Parpaing, etc.). Parmi les fours améliorés qui ont été développés, les plus populaires sont le Parpaing et le Chorkor [11].

Ces fours se sont répandus parmi les communautés de pêcheurs en Afrique à cause de leur utilisation facile et sans danger ainsi que de leur vaste capacité de transformation. Ils nécessitent peu de bois de chauffe, réduisent les temps de fumage et permettent de générer des poissons fumés de qualité acceptable. Malgré leurs performances, ces fours traditionnels améliorés de fumage présentaient des limites. Pour résoudre les problèmes des fours traditionnels améliorés la FAO a développé le four Thiaroye afin de permettre des opérations de transformation tout d'abord plus conforme aux exigences de sécurité sanitaire, mais aussi indépendamment des aléas climatiques [11].

Ce travail avait pour hypothèse que l'utilisation du four Thiaroye lors du fumage des poissons permettait de diminuer les teneurs en HAP et l'objectif général était d'évaluer les performances du four Thiaroye sur la réduction des teneurs en HAP de deux espèces de poissons fumés et de comparer la teneur en HAP des poissons fumés avec la norme de référence de l'Union européenne.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DU SITE DE L'ÉTUDE

L'étude a été réalisée sur le site de fumage de Guéssabo. Guéssabo est une ville située à l'ouest de la Côte d'Ivoire et appartenant au département de Zoukougbeu dans la région du haut-Sassandra. Guéssabo est situé à 432 km d'Abidjan et à 50 km de Daloa. Les principales activités du site sont la vente/mareyage de poisson frais et de poisson fumé et la pêche.

2.2 MATÉRIEL UTILISÉ

2.2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique est constitué de Mâchoiron (*Chrysichtys* sp) et du Thon (*Thunnus alalunga*) provenant du site du fumage de Guéssabo.



A : Mâchoiron (*Chrysichtys* Sp.)



B : Thon (*Thunnus alalunga*)

Fig. 1. Espèces de poissons prélevés

2.2.2 COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LE FUMAGE DU POISSON

Lors de cette étude, seul le bois rouge a été acheté dans la ville de Guéssabo et utilisé pour fumer les poissons. Le choix de l'utilisation de ce bois est motivé par sa faible toxicité par rapport aux autres essences de bois tels que l'hévéa et le bois bété.



Fig. 2. Combustible utilisé pour le fumage (Bois rouge: *Cassine orientalis*)

2.3 MÉTHODES

2.3.1 ÉCHANTILLONNAGE DES POISSONS

Dans le cadre ce travail, trois fumeuses ont collaboré afin de faciliter l'activité de fumage. En effet, pour que les résultats recherchés soient le plus proche possible de la réalité du terrain, ces femmes ont été associées à toutes les activités (collecte de poissons frais, collecte de combustibles, activités de fumages). Les échantillons de poissons frais et les combustibles ont été collectés dans la ville de Guéssabo.

Au total, 40 échantillons de poissons ont été collectés, dont 20 de chaque espèce. Ces 40 échantillons ont été conditionnés et repartis de la façon suivante: 30 échantillons de poissons frais destinés au fumage sur les fours traditionnels en raison de 10 échantillons à chacune des fumeuses retenues et 10 échantillons de poissons pour le fumage sur le four Thiaroye.

Le premier groupe de poisson (thon et mâchoiron) comprenait les poissons dont la taille était inférieure ou égale 30 cm et la masse est inférieure ou égale à 400 g. Le deuxième groupe de poisson (Thon et Mâchoiron) comprend les poissons dont la taille est comprise entre 32 et 38 cm et la masse est comprise entre 401 et 700 g.

2.3.2 LE FUMAGE DES POISSONS

Ouverture : Le poisson n'est pas totalement ouvert, il est simplement vidé par une incision ventrale.

Egouttage : C'est une étape très importante car elle permet de débarrasser toute l'eau qui a servi à laver les poissons et partiellement celle contenue dans la chair. Pour ce faire les poissons lavés sont disposés côte à côte sur une paillasse de bambou. Cette opération permet de réaliser un bon fumage et d'empêcher le poisson de se coller aux claies.

Fumage : Le fumage est fait avec le bois rouge. Les poissons sont rangés côte à côte sur une claie et recouvert d'une part avec un couvercle métallique pour le four amélioré et d'autre part avec des cartons pour le four traditionnel. La technique de fumage utilisée est le fumage à chaud qui n'a duré que 3 heures et 30 minutes appelé fumage court. Les équipements utilisés pour le fumage du poisson sont essentiellement le fumoir traditionnel et le four Thiaroye (Figure 3).



Fig. 3. Photographies du four Thiaroye (a) et du four traditionnel (b) utilisés pour les tests de fumage

2.4 ANALYSE DES HAP DANS LES POISSONS

Il s'agissait de déterminer le niveau de contaminations des échantillons de poissons fumés au four amélioré et au four traditionnel pour les différents polluants précisément le chrysène, le Benzo (a) Anthracène, le Benzo (b) Fluoranthène et du Benzo (a) pyrène.

L'extraction et la purification des HAP ont été faites suivant les recommandations de la norme internationale ISO 15753: 2016.

Les HAP ont été extraits avec un mélange n-hexane/dichlorométhane (Scharlau Chemie S.A), puis purifiés sur une micro-colonne de silice. La détermination de la teneur en HAP individuel après séparation est réalisée par le biais de l'HPLC en mesurant la fluorescence à des longueurs d'onde d'excitation et d'émission différentes.

2.4.1.1 EXTRACTION DES HAP

La méthode aux ultrasons a été utilisée pour l'extraction des HAP. Une prise d'essai de 5 g d'échantillon des muscles de poisson des deux faces est homogénéisée avec 2 g de Sulfate de magnésium ($MgSO_4$), et 2 g de Sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour absorber l'humidité.

Les HAP sont extraits par application d'un champ micro-ondes en présence d'un mélange de n-hexane/dichlorométhane (30 mL). Cette opération a été répétée trois fois pour optimiser l'extraction. L'extrait organique obtenu contenant les HAP est concentré au rotavapor, puis repris avec 5 mL d'hexane/dichlorométhane afin de subir une purification.

2.4.1.2 PURIFICATION DES EXTRAITS

La purification a été réalisée sur une micro-colonne de silice pré-conditionnée à cet effet. Les extraits ont été introduits à l'aide d'une seringue en tête de la micro-colonne de silice, les HAP sont élués sous tirage sous vide avec 5 mL d'un mélange de n-hexane et de dichlorométhane (50/50). La solution obtenue est filtrée sur filtre PTFE de porosité 0,45 μm puis évaporée. Les résidus sont ensuite récupérés avec 2 mL de méthanol pour le dosage. Les échantillons purifiés sont analysés avec un chromatographe liquide équipé d'un détecteur fluorimétrique.

2.4.1.3 DOSAGE DES HAP

Parmi les huit molécules d'HAP reconnus cancérigènes lorsqu'ils sont présents dans les aliments, quatre ont été recherchées. Il s'agit du Benzo [b] Fluoranthène (BbF), du Benzo [a] Pyrène (BaP), du Chrysène (CHR), et du Benzo [a] Anthracène (BaA).

La quantification des HAP a été effectuée par une chaîne HPLC (Chromatographie Liquide à Haute Performance) équipé d'un détecteur fluorimétrique de marque SHIMADZU.

2.5 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Le traitement des données et la réalisation des figures ont été possibles grâce à l'utilisation des logiciels EXCEL 365 et STATISTICA 7.1.

3 RÉSULTATS

3.1 TENEUR EN HAP DANS LES POISSONS FUMÉS AU FOUR TRADITIONNEL

Le tableau 1 présente les concentrations moyennes, maximales, minimales, ainsi que les médianes mesurées dans les échantillons de poissons fumés aux fours traditionnels.

Les résultats ont montré que, le benzo (a) pyrène avait une concentration moyenne de 9,66 µg/kg dans le thon. Concernant le Chrysène, le Benzo (a) Anthracène, le Benzo (b) Fluoranthène leurs valeurs étaient respectivement de 1434,29 µg/kg, 8,4 µg/kg et 86,05 µg/kg. La plus grande concentration est celle du Chrysène. La somme des concentrations moyennes des HAP dans le thon fumé traditionnellement étaient de 1135,59 µg/kg.

Pour le mâchoiron fumé, les concentrations sont de 12,43 µg/kg pour le Benzo (b) Fluoranthène et 46516,56 µg/kg pour le Chrysène. La concentration moyenne en benzo (a) pyrène pour le mâchoiron est de 21,29 µg/kg. Le Benzo (a) Anthracène a une concentration moyenne de 411,35 µg/kg et la somme des HAP est de 13675,58 µg/kg.

Il ressort des résultats que la concentration moyenne des HAP du mâchoiron était supérieure à celle du thon.

Tableau 1. Teneur en HAP dans les thons et mâchoirons fumés au four traditionnel

THON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	1434,29	8,40	86,05	9,66	1135,59
Maximum	5196,27	23,35	222,97	43,57	5239,84
Minimum	227,87	0,75	3,79	0,49	164,66
Médiane	840,77	6,02	34,22	0,98	
MACHOIRON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	46516,56	411,35	12,43	21,29	13675,58
Maximum	91123,50	735,17	73,59	47,21	87938,12
Minimum	1229,71	87,52	0,22	7,42	3,11
Médiane	46856,52	411,35	2,50	15,25	

3.2 COMPARAISON DES TENEURS EN HAP DES THONS ET MÂCHOIRON FUMÉS AU FOUR TRADITIONNEL AVEC LES VALEURS DE RÉFÉRENCES

Le tableau 2 révèle le niveau de contamination en B (a) P et la somme des HAP des échantillons par rapport aux valeurs de références de l'Union européenne (UE). Bien que la concentration moyenne des HAP dans le thon était moins élevée que celle du mâchoiron, aucun échantillon de poisson fumé avec le four traditionnel ne respecte la limite fixée par l'UE (2 µg/kg pour le B (a) P et 12 µg/kg pour la somme des HAP dans les poissons fumés).

Tableau 2. Teneur du B (a) P et la somme des HAP du thon et du mâchoiron fumés au four traditionnel en comparaison avec les valeurs seuils de référence

Espèces de poissons	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP (ug/kg)
THON	9,66	1135,59
MACHOIRON	21,29	13675,58
Normes	2	12

3.3 TENEUR EN HAP DANS LES POISSONS FUMÉS AU FOUR THIAROYE

Le tableau 3 indique les teneurs en HAP des poissons fumés au four Thiaroye. Les résultats ont montré que dans le thon, le Chrysène présentait la plus forte concentration avec une teneur de 181,51 µg/kg suivi du Benzo (b) Fluoranthène avec une concentration de 12,01 µg/kg. La concentration moyenne du Benzo (a) Anthracène était de 6,89 µg/kg et celle du Benzo (a) Pyrène était de 3,7 µg/kg. La somme des HAP avait une teneur de 204,11 µg/kg.

Pour le mâchoiron, le Chrysène avait la concentration la plus élevée avec une valeur de 704,98 µg/kg suivi du Benzo (a) Anthracène dont la concentration moyenne était de 21,72 µg/kg. Le Benzo (a) Pyrène et le Benzo (b) Fluoranthène avaient les valeurs respectives de 5,55 µg/kg et 1,3 µg/kg. Quant à la somme des HAP elle présentait une teneur de 733,55 µg/kg. Les résultats ont montré que la teneur en HAP du mâchoiron était plus élevée que celle du thon avec la technologie améliorée.

Tableau 3. Teneur en HAP dans les poissons fumés au four thiaroye

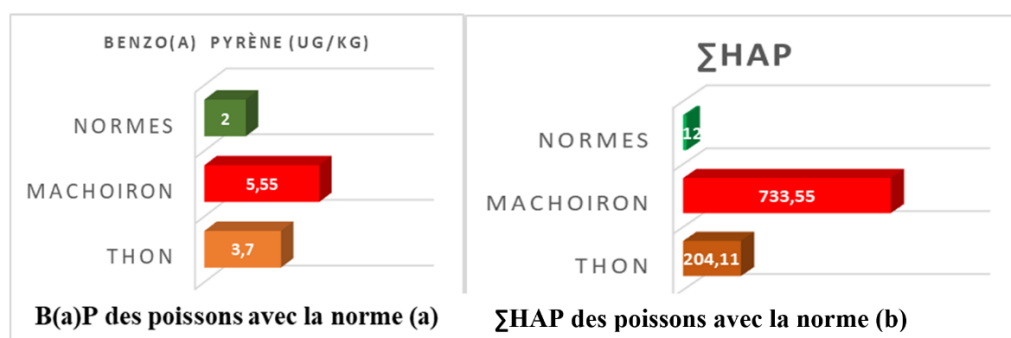
THON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	181,51	6,89	12,01	3,7	204,11
Maximum	413,65	18,2	64,29	12,27	508,41
Minimum	43,15	0,1	1,19	0,21	44,65
Médiane	159,58	2,38	3,76	1,44	
MACHOIRON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	704,98	21,72	1,3	5,55	733,55
Maximum	2703,71	64,34	4,02	7,24	2779,31
Minimum	184,07	7,43	0,38	2,88	194,76
Médiane	382,75	19,72	1,88	3,51	

3.4 COMPARAISON DES TENEURS EN HAP DES POISSONS FUMÉS AU FOUR THIAROYE ET LES VALEURS DE RÉFÉRENCES DE L'UE

La figure 1 donne la comparaison des concentrations moyennes en Benzo (a) Pyrène et la somme des HAP obtenues avec les échantillons fumés au four thiaroye avec la norme de l'Union européenne.

Le mâchoiron présente une teneur de 5,55µg/kg et le thon une valeur de 3,7 µg/kg alors que la concentration limite fixée par l'UE est de 2 µg/kg pour le Benzo (a) Pyrène (figure 1 a).

La figure 1 b est relatif à la somme des HAP. Le mâchoiron présentait une teneur de 733,55 µg/kg et le thon une valeur de 204,11 µg/kg. Ces valeurs sont supérieures à la norme de l'UE dont la valeur limite de la somme des HAP est fixée à 12 µg/kg.

**Fig. 4.** Comparaison des teneurs en HAP des poissons fumés au four Thiaroye et les valeurs de références de l'UE

3.5 TENEUR EN HAP DANS LE THON EN FONCTION DU TYPE DE FOUR DE FUMAGE

Le tableau 4 présente les teneurs en HAP dans le thon en fonction du type de four de fumage. Les résultats ont montré que le four thiaroye réduit considérablement les teneurs en HAP dans le thon. En comparant les teneurs par rapport au four traditionnel, il permet de réduire jusqu'à 87,34 % pour le Chrysène, 17,98 % pour le Benzo (a) Anthracène, 86,04 % pour le Benzo (b) Fluoranthène et 61,70 % le Benzo (a) pyrène. Quant à la somme des HAP la réduction est de 86,73 %.

Tableau 4. Niveau de contamination du thon par les HAP en fonction du type de four

THON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Four traditionnel	1434,29	8,4	86,05	9,66	1538,4
Four thiaroye	181,51	6,89	12,01	3,7	204,11
Pourcentage des HAP éliminé (%)	87,34	17,98	86,04	61,70	86,75

3.6 TENEUR EN HAP DANS LE MÂCHOIRON EN FONCTION DU TYPE DE FOUR DE FUMAGE

Le tableau 5 présente les teneurs en HAP dans le mâchoiron en fonction du type de four de fumage. Les résultats ont montré une forte diminution de la concentration en HAP avec le four Thiaroye. En comparant les teneurs par rapport au four traditionnel, les résultats ont indiqué une diminution de l'ordre de 98 %, 95 %, 90 %, 74 % respectivement du Chrysène, du Benzo (a) Anthracène, du Benzo (b) Fluoranthène et du Benzo (a) pyrène. Concernant la somme des HAP le taux a été réduit de 98 %.

Tableau 5. Niveau de contamination du mâchoiron par les HAP en fonction du type de four

MACHOIRON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Four traditionnel	46516,56	411,35	12,43	21,29	46961,63
Four thiaroye	704,98	21,72	1,3	5,55	733,55
Pourcentage des HAP éliminé (%)	98,48	94,72	89,54	73,93	98,44

4 DISCUSSION

Dans cette étude l'accent a été mis sur quatre HAP conformément au règlement (CE) no 835/2011 de la Commission européenne. Dans cette réglementation, le benzo (a) pyrène seul ne constitue pas un marqueur approprié de l'apparition de HAP dans les denrées alimentaires mais qu'un système de quatre HAP spécifiques [benzo (a) pyrène, chrysène, benzo (b) fluoranthène, benzo (a, h) anthracène] serait le meilleur indicateur de la présence des HAP dans les aliments.

Dans tous les échantillons, la quantité des quatre HAP prioritaires dépasse largement la limite fixée par la commission de l'Union européenne. Avec la technique de fumage traditionnelle, les résultats ont montré des concentrations élevées pour le Benzo (a) Pyrène et pour la somme des HAP aussi bien pour le thon que pour le mâchoiron. L'un des principaux facteurs qui a probablement contribué à obtenir des niveaux aussi élevés d'HAP dans les échantillons de poisson est la technique appliquée. En effet, avec le four traditionnel la distance entre le poisson et la fumée n'est pas grande. Ce four permet un contact direct entre la fumée et le poisson lors du fumage, ce qui entraînerait un dépôt massif de fumer contenant les HAP sur le poisson d'où des concentrations élevées. Certains auteurs [12] ont montré que fumer du poisson en utilisant des méthodes traditionnelles augmentait la quantité d'HAP formée dans les poissons fumés. Le deuxième facteur important qui pourrait expliquer les teneurs élevées en HAP est le combustible utilisé lors du fumage. Certes le bois est un combustible qui génère de la fumée et donne au poisson un goût et un arôme particuliers mais la plupart des HAP présents dans les aliments fumés, en particulier les poissons, proviennent de la fumée de bois dont certains sont cancérigènes [7], [13].

En plus du type de four et du combustible utilisés lors du fumage qui sont autant de facteurs favorisant la formation des HAP, le temps et la température de fumage pourraient contribuer à leur apparition. Plus le processus de cuisson est long, plus le poisson reste longtemps au feu avec une température très élevée dans le processus de fumage. La fumée de bois contient un grand nombre d'HAP dont la formation dépend essentiellement de la température [13]. La température de la fumée est importante, car la quantité d'HAP formés lors de la pyrolyse augmente à mesure que la température augmente [14]. Dans l'étude sur le fumage des poissons en Afrique

de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportation, [7] avaient démontré l'importance du processus de fumage dans l'apparition des HAP dans les poissons.

Bien qu'ayant utilisé le même type de combustible, l'étude a montré qu'avec le four amélioré les concentrations en HAP étaient moindres. En effet, avec le four thiaroye, les teneurs pour le Benzo (a) Pyrène et la somme des HAP sont respectivement de 3,7 et 204,11 µg/kg pour le thon. Le mâchoiron présente des teneurs de 5,55 µg/kg pour le Benzo (a) Pyrène et 733,55 µg/kg. Les différences observées dans les concentrations des HAP entre les espèces de poisson pourraient être attribuées aux différences de composition de graisse de chaque espèce. Les travaux de certains auteurs [12], [15] ont révélé que le mâchoiron était riche en matière grasse comparativement au thon. Certaines études avaient examiné l'effet de la composition de l'échantillon sur la formation d'HAP dans des échantillons de poisson. Les résultats ont montré que la fumée induite par la graisse pendant les processus de chauffage augmentait et pénétrait dans le poisson [16], [17]. Par ailleurs, cette étude a révélé également que les concentrations en Benzo (a) Pyrène et la somme des quatre HAP sont plus élevées dans les échantillons de mâchoiron (poissons gras) fumés que ceux du thon (poissons moins gras) quel que soit la technologie utilisée.

Bien que les poissons fumés au four Thiaroye ne respectent pas le seuil critique selon les recommandations de l'UE, ce four a réduit considérablement les teneurs en HAP dans les poissons fumés. Le four Thiaroye qui a été construit pour corriger l'insuffisance des autres fours est doté d'un collecteur de graisse. Ce système permet de collecter des matières grasses durant la cuisson. Ce qui empêche ces matières d'être en contact avec le feu afin de générer en retour des dépôts de particules de goudron sur le poisson. Le système de filtre dont dispose ce four permet de filtrer et d'abaisser la température de la fumée lors du fumage.

Au terme de cette étude, il ressort que le four Thiaroye a un impact majeur quant à la diminution des HAP dans le poisson fumé. Il serait important que l'usage de ce type de four soit généralisé auprès des acteurs du fumage de poisson. Il faudrait que des études soient conduites afin de trouver le meilleur combustible à utiliser avec ce type de four.

5 CONCLUSION

Ce travail avait pour but de montrer l'influence du four Thiaroye dans la réduction de la teneur en HAP des poissons fumés. Pour ce faire, nous avons comparé les teneurs en HAP des poissons fumés avec le four Thiaroye et des poissons fumés au four traditionnel avec le même combustible. Les résultats de notre étude prouvent que les quatre HAP étudiés ont été détectés dans tous les deux espèces de poisson, mais à des degrés divers. Les plus grandes concentrations sont généralement observées chez le mâchoiron. Le four Thiaroye permet d'éliminer 61,70 % de Benzo (a) pyrène et 86,73 % pour la somme des HAP concernant le thon. Pour le mâchoiron, il permet une réduction de 73,93 % de Benzo (a) Pyrène et 98,44 % pour la somme des HAP. Malgré cette réduction considérable de la teneur en HAP grâce au four Thiaroye, les teneurs observées dépassent le seuil critique de la nouvelle législation Européenne. Afin de répondre à la norme de l'Union européenne et de réduire davantage le niveau de contamination des aliments, il est donc important de poursuivre le travail avec le four Thiaroye afin d'approfondir l'impact d'autres combustibles sur la teneur en HAP lors du fumage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les acteurs du secteur particulièrement les femmes fumeuses de poissons dans la ville de Guéssabo de leur vive collaboration dans la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] FAO, State Of World Fisheries And Aquaculture 2020: sustainability in action. Food and Agriculture Organization, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- [2] N. W. Chabi et al., "Performance of an improved smoking device (Chorkor furnace) on the quality of smoked fish in the municipality of Aplahoue (Southeast Benin)", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 9, no 3, pp. 1383-1391, 2014, [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-14-264-06>.
- [3] K. A. Kouamé, R. N. D. Etile, A. T. Bedia, S. S. Yao, B. G. Goore Bi, et E. P. Kouamelan, "Transformation et conservation des principales espèces de poissons à intérêt économique du département de Fresco (Côte d'Ivoire)", *Agronomie Africaine*, no 8, pp. 127-137, 2019.
- [4] P. Dossou-Yovo, I. Bokosssa, H. Ahouandjinou, S. Zolotokopova, et I. Alaguina, "Performance d'un dispositif amélioré de séchage de poisson fermenté appelé lanhouin au Bénin", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, no 6, pp. 2272-2279, 2010, doi: 10.4314/ijbcs.v4i6.64973.
- [5] V. B. Anihouvi, J. D. Hounhouigan, et G. S. Ayernor, "Production et commercialisation du « lanhouin », un condiment à base de poisson fermenté du golfe du Bénin", *Cahiers Agricultures*, vol. 14, no 3, 323-330, 2005. [En ligne]. Disponible sur: <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30525>.
- [6] FAO, Report and papers presented at the second workshop on fish technology, utilization and quality assurance in Africa: Agadir, Morocco, 24 - 28 November 2008=Rapport et documents présentés au deuxième atelier sur la technologie, l'utilisation et

- l'assurance de qualité du poisson en Afrique: Victoria, Mahe, Seychelles, 22 - 25 November 2011. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [7] M. Rivier, F. Kebe, et T. Goli, Fumage de poissons en Afrique de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportations. Rapport intermédiaire, 2009.
- [8] P. Failler, H. El Ayoubi, et A. Konan, Industrie des pêches et de l'aquaculture. Rapport no 7 de la Revue de l'industrie des pêches et de l'aquaculture dans la zone de la COMHAPAT, 2014.
- [9] International Agency for Research on Cancer (IARC), Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures, vol. 92. France: International Agency for Research on Cancer, 2010. Consulté le 23 avr., 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK321712>.
- [10] Agence Canadienne d'inspection des aliments (ACIA), Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans certains aliments - 1 avril 2018 au 31 mars, Canada. Consulté le 23 avr., 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://inspection.canada.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/chimie-et-microbiologie-alimentaires/bulletin-d-enquete-et-rapports-d-analyse-sur-la-sa/rapport-final/fra/1578610274684/1578610437111>.
- [11] O. Ndiaye, B. K. Sodoke, et Y. Diei-Ouadi, La technique FAO-Thiaroye de transformation (FTT-Thiaroye), FAO, Rome, 2014.
- [12] B. O. Silva, O. T. Adetunde, T. O. Oluseyi, K. O. Olayinka, et B. I. Alo, " Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in some locally consumed fishes in Nigeria", *AJFS*, vol. 5, no 7, pp. 384-391, 2011, doi: 10.5897/AJFS.9000235.
- [13] A. Stolyhwo et Z. E. Sikorski, " Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review", *Food Chemistry*, vol. 91, no 2, pp. 303-311, 2005, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.06.012.
- [14] P. Simko, " Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives", *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, vol. 770, no 1-2, pp. 3-18, 2002, doi: 10.1016/s0378-4347 (01) 00438-8.
- [15] A. H. Hampoh, Evaluation et atténuation des risques alimentaires probables liés à la consommation des poissons de la lagune de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) exposés aux micropolluants environnementaux (PCB et HAP), Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2016.
- [16] L. Rey-Salgueiro, M. S. García-Falcón, E. Martínez-Carballo, et J. Simal-Gándara, " Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread", *Food Chemistry*, vol. 108, no 2, pp. 607-615, 2008, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.026.
- [17] A. Farhadian, S. Jinap, H. N. Hanifah, et I. S. Zaidul, " Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat", *Food Chemistry*, vol. 1, no 124, pp. 141-146, 2011, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.05.116.

Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG) : Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun)

[Flood Susceptibility mapping applying Analytical Hierarchy Process (AHP) combined with Geographic Information System (GIS) : A case study of the Diamare Division (Far north of Cameroon)]

Adama Amaya¹, Mama Ntoubé², Amadou Kepnamou Diguim², and Elvis Kah¹

¹Département de Cartographie Géologique et Géomatique, Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière, Université de Ngaoundéré, Meiganga, Cameroon

²Département de Mine et Géologie, Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière, Université de Ngaoundéré, Meiganga, Cameroon

Copyright © 2021 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 occurrence of heavy rains in the Diamare Division (far north of Cameroon), makes this region a sensitive area to recurrent floods. This work provides a flood susceptibility map, which is an important tool for risk management, allowing priority areas to be defined for detailed studies. The methodology applied is Analytical Hierarchy Process (AHP) combined with spatial analysis in GIS. Six flood-conditioning factors were chosen based on their relevant contribution to the flood, and on the expert opinion. These factors have been weighted to determine each factor importance, in the flood occurrence. According to the map, 24, 71% of the study area, was identified as an area with very high susceptibility, whereas very low, low, moderate and high susceptibility zones covered 5,63%; 9,9%; 25,24% and 34,52% of the area, respectively. The quality of susceptibility mapping was validated by the perfect projection of historical floods in the very high and high susceptibility zones.

KEYWORDS: Susceptibility, Flood, Diamare, Geographic Information Systems (GIS), Analytical Hierarchy Process (AHP), Mapping.

RESUME: L'occurrence des pluies brutales dans le Département du Diamaré (extrême-nord du Cameroun), expose cette zone aux crues récurrentes, engendrant des risques d'inondation chaque année. Ce travail fournit une cartographie des zones susceptibles aux d'inondation, et constituera un outil important pour la gestion des risques, permettant de définir des zones prioritaires pour des études détaillées. La méthodologie adoptée est l'analyse multicritère hiérarchique (AHP), combinée à l'analyse spatiale dans les SIG. Six facteurs conditionnant l'inondation ont été choisis suivant leur contribution pertinente à l'inondation, et validés par l'avis des experts. Ces facteurs ont été pondérés pour déterminer l'importance de chacun à l'occurrence des inondations. Il en résulte que 24,71% de la superficie totale du Diamaré est soumis à une susceptibilité très élevée aux inondations, 34,52% à une susceptibilité élevée, 25,24% à une susceptibilité modérée, 5,63% et 9,9% à une susceptibilité très faible et faible respectivement. Les inondations catastrophiques historiques sont localisées dans les zones de susceptibilité élevées à très élevée, ce qui permet de valider notre carte.

MOTS-CLEFS: Susceptibilité, inondation, Diamaré, Système d'Information Géographique (SIG), analyse multicritère hiérarchique (AHP), Cartographie.

1 INTRODUCTION

Les inondations constituent une catastrophe naturelle qui représente une menace pour la population, l'environnement, les habitats et les infrastructures. La région de l'extrême-nord Cameroun connaît ce phénomène depuis plus de 10 ans, dont les plus importants ont été enregistrés les années 1997, 2000; 2007; 2010, 2020.

Le Département du Diamaré a été particulièrement touché par ces inondations avec comme conséquence : des pertes en vie humaine, la destruction des infrastructures (pont de palar ...), la destruction d'abris, la destruction des zones agricoles, et surtout l'exposition de la population à des maladies telle que le choléra.

Ces inondations qualifiées souvent de crues soudaines sont liées aux occurrences dans le Département, des précipitations violentes sur une courte période. Ce phénomène est favorisé par les caractéristiques environnementales, morphologiques et géologiques, incapables de gérer les quantités d'eau précipitées. La cartographie des zones exposées aux risques d'inondation est ainsi considérée comme une nécessité pour planifier un développement durable du département ; étant donné que l'agriculture, principale activité de cette région contribue considérablement dans l'économie du pays.

La présente étude est réalisée dans le but d'identifier et de cartographier les zones sensibles aux risques d'inondation ; car la gestion optimale des inondations nécessite au préalable une bonne connaissance des causes du phénomène et une bonne cartographie de son extension [1].

L'approche méthodique est basée sur une analyse multicritère combinée à des systèmes information géographique (SIG). Les SIG sont des outils particulièrement performants pour l'étude des risques naturels, en particulier la surveillance des phénomènes d'inondations [2]; car ils permettent d'identifier les zones affectées, d'hiérarchiser le risque et contribuent à la mise en place de plans de préventions des risques [3], [4]. L'analyse multicritère permet de déterminer l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation, en lui attribuant un poids.

L'AHP (Analytic hierarchy process) est la technique d'analyse multicritère utilisée dans ce travail. Elle est considérée comme une méthode optimale pour hiérarchiser des facteurs multiples afin de générer une information spatiale de la susceptibilité aux inondations [5], [6], [7]. La carte ainsi produite sera validée par des données historiques sur l'inondation et des observations sur le terrain.

2 LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est localisée dans la région de l'extrême-nord du Cameroun (Fig.1). C'est un Département qui occupe une superficie de 6005 km². Sa longitude et sa latitude s'étendent de 14° à 15° Est et de 10° à 11° Nord. Les limites du Département ne correspondent à aucune définition naturelle si ce n'est à l'ouest où la limite suit grossièrement le massif Mandara. Le Diamaré est drainé par le fleuve périodique le Mayo Tsanaga et son principal affluent le Mayo Kalliao. Ce Département est constitué de 9 communes: Maroua I, Maroua II, Maroua III, Meri, Dargala, Gasawa, Bogu, Ndoukoulou et Pétété. Il est régi par un climat sahélo-soudanien avec des températures très élevées atteignant les 45° C à l'ombre. La pluviométrie varie entre 600 et 900 mm par an. Le maximum de pluviométrie est atteint surtout entre Juillet et Aout. Deux types de saisons déterminent la pluviométrie de la localité: une longue saison sèche quittant d'Octobre en Avril. Une courte saison de pluie qui occupe le reste des mois de l'année, Mai à Septembre. Du point de vue géologique, le Département est dominé par des formations du socle d'âge précambriennes à anté-crétacé. Elles sont composées de roches métamorphiques (les granites d'anatexie, les ectinites et les migmatites), plutoniques (granite) et sédimentaires (alluvions) identifiables dans le paysage varié qui caractérise cette zone de reliefs marqués et de pénéplaines étendues.

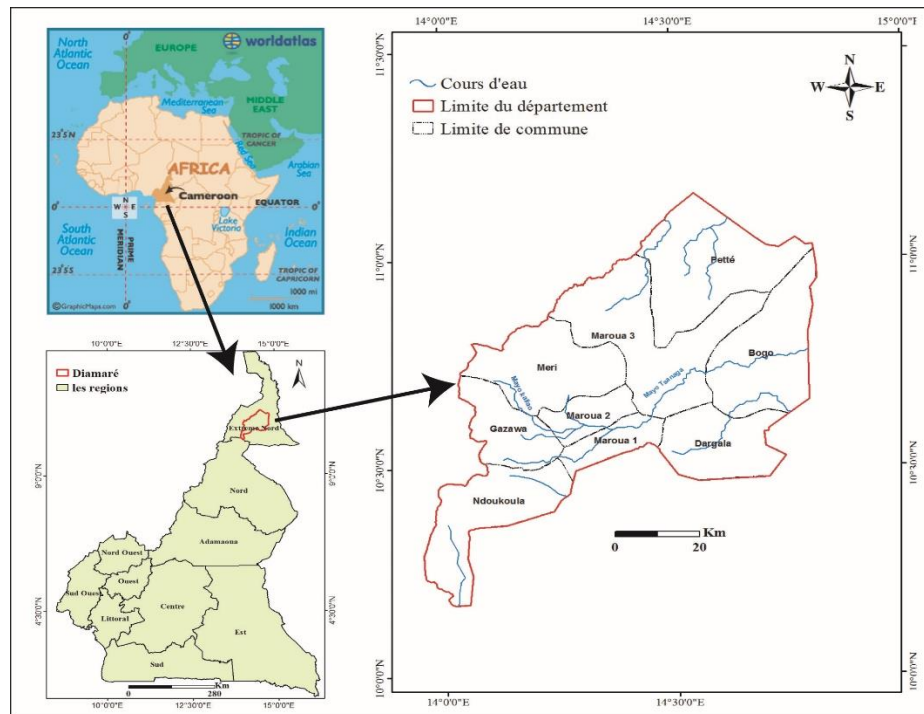


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIELS

Les données physiques utilisées dans cette étude, ont été collectées des sources diverses (Tableau 1).

Tableau 1. Données utilisées dans cette étude

Type de donnée	Description	Résolution/ Echelle	Source
Model Numérique de Terrain (MNT)	ASTER GDEM, Téléchargée	30m	Earth explorer
Image Landsat 8	Téléchargée	30m	Earth explorer
Géologie	Numérisée de la carte géologique de l'extrême-nord	1/500000	Institut nationale de Cartographie
Précipitation	Méthode interpolation dans les SIG		Société de développement de coton
Pente	Extraite du MNT	30m	Earth explorer
Densité de drainage	Extraite du MNT	30m	Earth explorer

3.2 METHODE

Dans cette étude, pour produire la carte de susceptibilité aux inondations, la technique d'analyse multicritère AHP combinée au SIG, a été utilisée. Cette technique fournit une approche systématique pour évaluer et intégrer les impacts de divers facteurs qui impliquent différents degrés d'informations dépendantes ou indépendantes, qualitatives et quantitatives [8], [9]. Le processus de la méthode peut être résumé en trois étapes: la sélection et l'évaluation des facteurs, l'analyse multicritère AHP, et l'analyse de la susceptibilité aux inondations.

3.3 LES FACTEURS CONDITIONNANT L'INONDATION

L'identification des facteurs induisant l'inondation est la plus importante étape dans l'évaluation de la susceptibilité aux inondations. Le choix de ces facteurs doit se faire dans un cadre garantissant l'englobement de l'ensemble du problème. En outre, l'ensemble des facteurs doit être réduit au minimum afin de réduire la complexité du processus d'évaluation [10]. Les facteurs pluviométrie, occupation du sol, pente, densité de drainage, altitude, géologie, utilisés dans cette étude ont été sélectionnés en raison de leur contribution pertinente à l'inondation dans la zone d'étude. Ils ont été validés par des experts. Cependant, ils ne contribuent pas à la même amplitude raison pour laquelle nous procédons à une analyse multicritère pour évaluer le poids de la contribution de chaque facteur.

Les couches de données d'entrée ont des échelles et des unités de mesure différentes. Afin de calculer la susceptibilité comme une valeur cumulée de tous les facteurs, elles ont toutes été ramenées à la même échelle. La méthode de classification des ruptures naturelles pour les ensembles de données continues est utilisée pour séparer les valeurs de pixel. Ces dernières sont reclassées en cinq classes, de un à cinq, reflétant la susceptibilité à l'inondation de un très faible à cinq très élevée.

3.3.1 PLUVIOMETRIE

Les précipitations ont une influence significative sur les inondations lorsque les cours naturels des rivières ne peuvent pas transporter l'excès d'eau. Par conséquent, les berges débordent entraînant des crues fluviales. Les données pluviométriques ont été analysées dans la zone du Diamaré en utilisant la méthode d'interpolation par krigeage ordinaire dans les SIG. La distribution spatiale des précipitations moyennes annuelles est illustrée sur la figure 2a. Les pourcentages des précipitations ont été groupés en cinq classes respectives: 4,88%, 7,04%, 12,43%, 49,57% et 26,07%.

3.3.2 LA DENSITE DE DRAINAGE

La densité du drainage est un élément important dans les mesures de contrôle des crues [11]. Elle exprime la longueur des cours d'eau par unité de surface (km / km^2) [12]. Généralement, une densité de drainage élevée signifie une grande surface de ruissellement par rapport aux zones de faible densité de drainage. Par conséquent, elle a une forte probabilité d'être inondée [13], [14]. La carte de densité de drainage a été produite en utilisant l'outil d'analyse densité-ligne de ArcGIS. Cinq classes de densité de drainage ($0-0,4 \text{ km}^2 / \text{km}$, $0,4-0,8 \text{ km}^2 / \text{km}$, $0,8-1,2 \text{ km}^2 / \text{km}$, $1,2-1,6 \text{ km}^2 / \text{km}$ et $1,6-2,2379 \text{ km}^2 / \text{km}$) sont affichées sur la figure 2b correspondant à des classes très faibles, faible, modérée, élevée et très élevée. Les proportions respectives de ces classes sont: 28%, 30%, 26%, 12%, 4%.

3.3.3 PENTE

L'inondation se produit dans les zones de faible pente due à l'accumulation vers le bas de l'eau en provenance des zones de haute altitude. La carte des pentes (Fig. 2c) a été créée à partir du Modèle Numérique de Terrain de la zone d'étude où les pentes varient de 0 % à 108,68%. Le nord, le centre, l'est et le sud de la région, sont les moins inclinés avec une pente comprise entre 0 à 5,99%. Par contre, la catégorie de pente la plus raide de 31,66% à 108,68% couvre une petite partie au sud-ouest, et s'étend jusqu'à l'ouest de la région. La carte des pentes a été regroupée en cinq classes avec le rang le plus élevé attribué à la classe de très faible pente: 47,06–108,68%, 31,66–47,06%, 17,97–31,66%, 5,99–17,97%, et 0–5,99%, respectivement. La classe de très faible pente occupe 93,76% de la zone d'étude, faible pente occupe 2,36%, pente modérée 1,85%, et les pentes fortes et très fortes occupent 1,41% et 0,60% respectivement.

3.3.4 OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol constitue le principal facteur pour identifier les zones susceptibles d'être submergées par les crues [15]. Cette dernière influence le taux d'infiltration. Par exemple, la forêt et la végétation favorisent l'infiltration de l'eau [16]. D'autre part, la zone urbaine, qui est principalement constituée de surfaces imperméables et de terres nues, augmente le ruissellement des eaux [17]. Les résultats de l'analyse spatiale réalisée dans ArcGis montrent qu'une grande partie de la zone d'étude est couverte par les sols nus (42,8%). La savane occupe 38,75% de la zone, les roches 9,5%, le sol nu Sableux 3,4%, le Bati 7,9%, les zones de culture 1,42% et les cours d'eau 1,07% (fig. 2d).

3.3.5 ALTITUDE

Les inondations sont généralement concentrées en basse altitude car les précipitations en haute altitude s'accumulent en aval en raison des forces gravitationnelles. Les classes d'altitude ont été automatiquement extraites du Modèle Numérique de Terrain (MNT), et reclassées en cinq classes dont la classe 1 est attribuée aux altitudes très élevées. Les proportions respectives de ces classes sont 43,66%, 47,45%, 6,80%, 1,87%, 0,38% (fig. 2e).

3.3.6 GÉOLOGIE

La géologie est un facteur important dans l'étude des risques d'inondation, car elle peut soit amplifier, soit atténuer le degré de risque lié à cette catastrophe naturelle. Ce facteur est lié à la perméabilité et à la capacité de stockage de l'eau qui varient selon les types de roche [18]. Lorsque la roche est imperméable, l'infiltration des eaux pluviales est moins importante, ce qui favorise l'extension des surfaces de ruissellement et amplifie les effets des inondations [16]. Les formations perméables, c'est-à-dire le sable grossier et le sable (grès), sont parfaites pour l'infiltration des eaux de pluie et diminuent par la suite le risque d'inondation. En revanche, les facteurs imperméables, c'est-à-dire l'argile et le limon, les roches cristallines, augmentent le débit de ruissellement, ce qui amplifie la probabilité d'inondation [19]. La géologie du Département du Diamaré est extraite de l'analyse spatiale de la carte géologique de l'extrême-nord du Cameroun sur ArcGis. Les alluvions du quaternaire occupent la majeure partie de la zone d'étude soit 42,96%. Ils sont suivis de la Migmatite et Anatexite 31,67%, le Cordon dunaire 12,64%, la Rhyolite et Trachyte 4,52%, le Granite 4,43%, et le Gneiss 3,78%. La classe de susceptibilité très faible a été attribuée aux alluvions du quaternaire du à leur capacité d'infiltration élevée (fig. 2f).

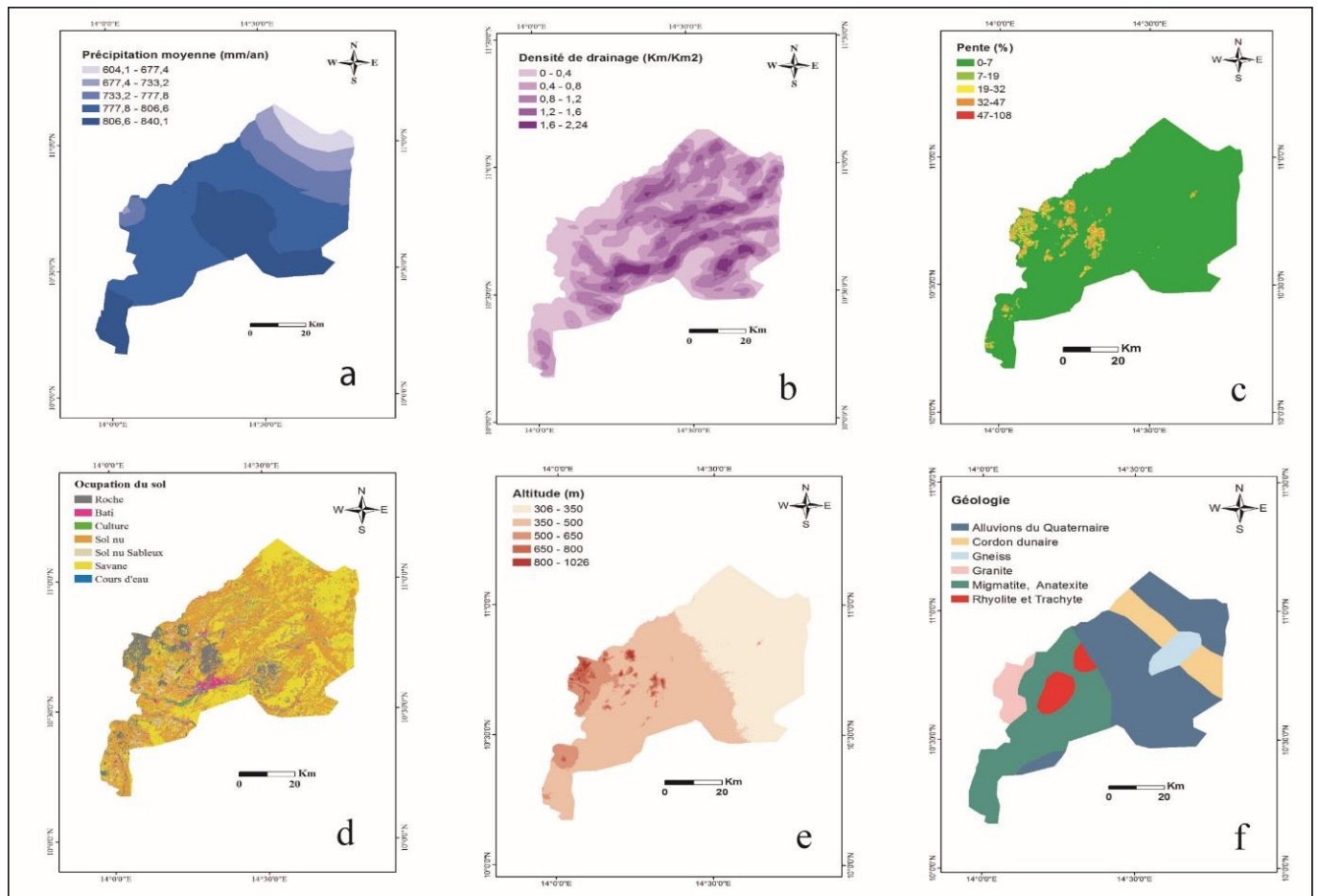


Fig. 2. Carte thématique de l'analyse de la susceptibilité aux inondations (a: pluviométrie; b: Densité de drainage; c: pente; d: occupation du sol; e: Altitude; f: géologie)

3.4 PROCESSUS D'ANALYSE MULTICRITERE HIERARCHIQUE

La première étape de ce processus a consisté en la préparation des couches de données compatibles à l'interface ArcGis. Après cette préparation, tous les facteurs ont été pondérés suivant l'Analyse Multicritère Hiérarchique (AHP) qui est une technique de prise de décision multicritères.

La méthode est basée sur la comparaison des différents facteurs, par paire. À partir de la construction d'une matrice carrée, on évalue l'importance relative d'un facteur par rapport à un autre, en utilisant pour cela, une échelle adéquate telle proposée par [20], (Tableau 2). Les comparaisons par paires de tous les facteurs ont été prises comme données d'entrée de la matrice. Une fois que la matrice de comparaison est remplie, on calcule la valeur propre de chacune et le vecteur propre lui correspondant. Le vecteur propre indique l'ordre de priorité ou le poids des facteurs étudiés [21]. Ce résultat est important pour l'évaluation de la probabilité, puisqu'il sera utilisé pour indiquer l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation.

La matrice de comparaison par paires de cette étude, est présentée dans le tableau 3 en utilisant une matrice 6 x 6, où les valeurs de la diagonale sont égales à 1. Les valeurs de chaque ligne sont comparées à chaque colonne pour définir l'importance relative de chaque facteur afin d'obtenir une valeur.

Tableau 2. Échelle proposée par [20]

Degrés d'importance de chaque critère	Description
1	Importance égale
3	Faible importance d'une caractéristique par rapport à une autre
5	Importance forte ou déterminante
7	Importance très forte ou attestée
9	Importance absolue
2, 4, 6, 8	Valeurs associées à des jugements intermédiaires

Tableau 3. Matrice de comparaison par paire

Facteur	Pluviométrie	Densité de drainage	Pente	Occupation du sol	Altitude	Géologie
Pluviométrie	1	3	3	3	5	7
Densité de drainage	0,33	1	0,33	1	3	3
Pente	0,33	3	1	3	3	5
Occupation du sol	0,33	1	0,33	1	5	5
Altitude	0,2	0,33	0,33	0,2	1	3
Géologie	0,14	0,33	0,2	0,2	0,33	1
Somme	2,33	8,66	5,19	8,4	17,33	24

Tableau 4. Matrice de pondération

Facteur	Pluviométrie	Densité de drainage	Pente	Occupation du sol	Altitude	Géologie	Poids
Pluviométrie	0,429	0,346	0,578	0,357	0,289	0,292	0,382
Densité de drainage	0,142	0,115	0,064	0,119	0,173	0,125	0,123
Pente	0,142	0,346	0,193	0,357	0,173	0,208	0,237
Occupation du sol	0,142	0,115	0,064	0,119	0,289	0,208	0,156
Altitude	0,086	0,038	0,064	0,024	0,058	0,125	0,066
Géologie	0,060	0,038	0,039	0,024	0,019	0,042	0,037
Somme	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Après l'élaboration de la matrice de comparaison et la définition des poids des facteurs, il est nécessaire de vérifier la cohérence des jugements, par le calcul du ratio de cohérence. L'équation suivante donne le calcul du ratio de cohérence [22]:

$$CR = CI / CA \quad (1)$$

Où CI est l'indice de cohérence et CA est l'indice de cohérence aléatoire (Tableau 5) dont la valeur dépend du nombre n, et n le nombre de critère (facteurs).

La matrice sera cohérente si le rapport est $< 0,1$.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (2)$$

Où CI: indice de cohérence; n: nombre de facteurs évalués; $\lambda_{\max}$: la valeur propre calculée à partir de la matrice de comparaison.

La matrice de comparaison par paires est cohérente si $\lambda_{\max} \geq n$ [20].

($\lambda_{\max}$ est obtenu par la somme du produit de chaque élément du vecteur propre et la somme de la colonne correspondante de la matrice de comparaison), [23].

Tableau 5. Valeurs de CA [24]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Dans cette étude le nombre de facteur est égal à six, et comme résultat, CA est égale à 1,24.

$\lambda_{\max} = 6,41$; qui est supérieur à 6. Ainsi, la matrice de pondération est cohérente dans cette recherche.

$$CI = 0,082$$

$$CR = 0,066$$

Le ratio de cohérence est égale à 0,066 ce qui est inférieur à 0,1; la cohérence de la pondération est valide.

Tableau 6. Classes des facteurs et leur pondération

Facteur	Classes	Rang	Poids
Pluviométrie	604,1 - 677,4	1	0,382
	677,4 – 733,2	2	
	733,2- 777,8	3	
	777,8 - 806,6	4	
	806,6 -840,1	5	
Densité de drainage	0 - 0,4	1	0,123
	0,4 - 0,8	2	
	0,8 - 1,2	3	
	1,2 - 1,6	4	
	1,6 – 2,24	5	
Pente	0-7	5	0,237
	7-19	4	
	19-32	3	
	32-47	2	
	47-108	1	
Occupation du sol	Roche	4	0,156
	Bati	5	
	Culture	3	
	Sol nu	5	
	Sol nu sableux	4	
	Savane	2	
	Cours d'eau	5	
Altitude	306-350	5	0,066
	350-500	4	
	500-650	3	
	650-800	2	
	800-1026	1	
Géologie	Alluvion du quaternaire	1	0,037
	Cordon dunaire	2	
	Gneiss	5	
	Granite	5	
	Migmatite, Anatexite	5	
	Rhyolite et Trachyte	5	

3.5 ANALYSE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS

La spatialisation de la susceptibilité aux inondations a été déterminée en utilisant l'outil ArcGIS -Spatial Analyst – Overlay pour agréger toutes les trames de facteurs pondérés afin de produire le résultat final, ceci en intégrant l'équation (3).

Susceptibilité d'inondation = (Pente * 0,237) + (Occupation du sol * 0,156) + (Pluviométrie * 0,382) + (Densité de drainage * 0,123) + (Altitude * 0,066) + (Géologie*0,037) (3)

Enfin, les données historiques sur les inondations ont été utilisées pour valider la carte réalisée.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

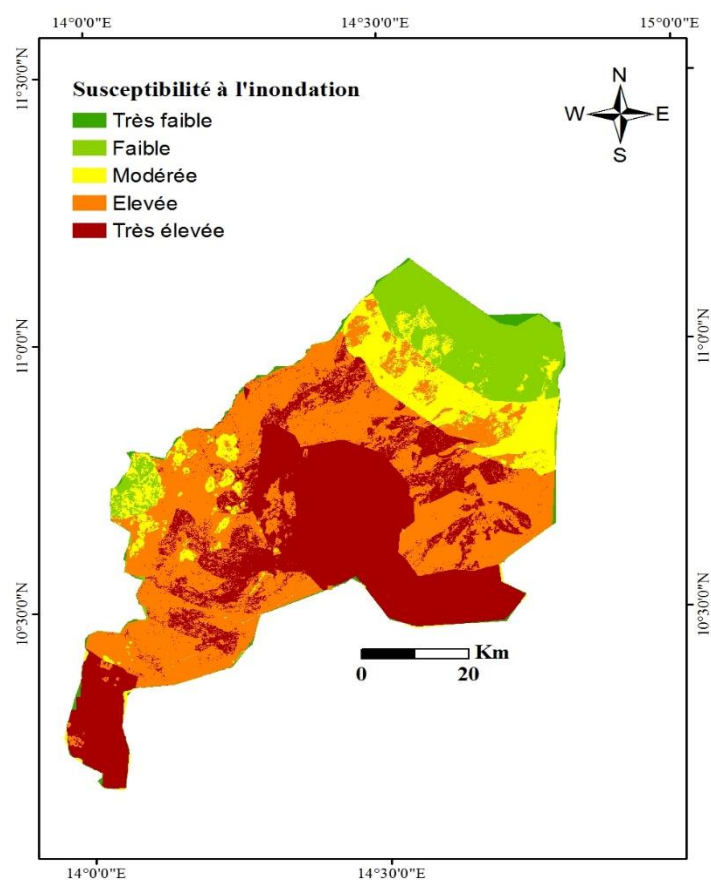


Fig. 3. Carte de susceptibilité aux inondations

Le résultat final des calculs est une image où chaque pixel a des valeurs continues allant de 1 à 5 comme représentation de la susceptibilité aux inondations à chaque endroit. La sortie est fortement influencée par les poids, mais les valeurs combinées conservent des informations sur le degré de susceptibilité relative. La carte de susceptibilité aux inondations présentée sur la figure 3, est reclassée en cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée, très élevée.

Cette carte montre que les zones de susceptibilité très élevées couvrent 24,71% de la superficie totale. Elles occupent le centre et le sud du Département. Les communes de Maroua 1^{er}, Maroua 2^e et Maroua 3^e qui sont les théâtres réguliers des inondations, sont principalement couverts par la zone de susceptibilité très élevée. Ces zones présentent des pentes et des altitudes faibles. Les eaux de pluies ruissellent des hautes altitudes pour inonder ces parties plates, et les lits des cours d'eau sont facilement débordés.

La zone de susceptibilité élevée occupe une partie considérable dans la zone d'étude. Cette zone est marquée par une pente faible, et reçoit une quantité élevée de précipitation. Cette plage occupe une proportion de 34,52 % de la zone d'étude et est éparpillée sur l'étendue de la superficie excepté au nord.

La zone de susceptibilité moyenne est localisée au nord et l'ouest du Diamaré couvrant un taux de 25,24 % de la zone d'étude. Elle est caractérisée par une pluviométrie faible.

La zone de faible à très faible susceptibilité à l'inondation couvrent 15,53 % de la superficie totale et est localisée à l'extrême-nord et extrême ouest de la zone d'étude.

Les données relatives à l'historique des inondations catastrophiques enregistrées dans la zone d'étude, sont projetées sur la carte de susceptibilité aux inondations. Elles occupent les zones de susceptibilité élevée à très élevée (fig. 4). Ceci permet de valider le résultat obtenu de cette étude.

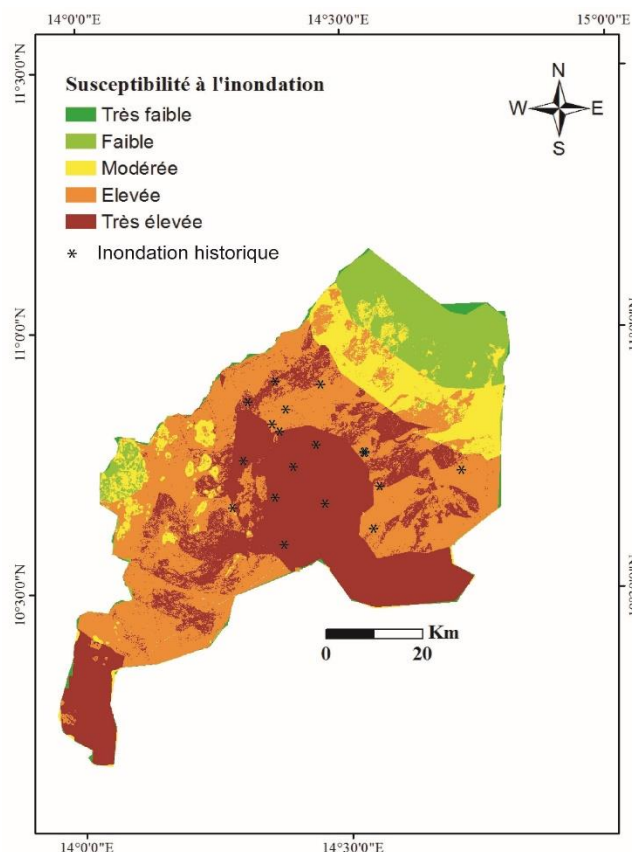


Fig. 4. Carte représentant les inondations historiques

5 CONCLUSION

La présente recherche élucide la cartographie de la susceptibilité à l'inondation en tant qu'approche préalable à la prédiction de cette calamité naturelle dans le département du Diamaré. La susceptibilité à l'inondation a été cartographiée en appliquant la méthode AHP basée sur l'analyse multicritère intégrée dans le SIG. Six facteurs ont été étudiés et pondérés.

L'importance relative des facteurs sélectionnés priorise la pluviométrie comme facteur le plus important dans l'induction des inondations, suivi de la pente, de l'occupation du sol, de la densité de drainage, de l'altitude, et de la lithologie. La somme des facteurs pondérés dans le SIG a permis de produire la carte de susceptibilité aux inondations qui contient cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée et très élevée avec des proportions relatives de 5,63%; 9,90%; 25,24%; 34,52% et 24,71%. L'historique des inondations dans la zone d'étude a permis de valider la carte de susceptibilité aux inondations car les communes les plus touchées par les inondations pendant cette dernière décennies, sont couvertes par la plage de susceptibilité élevée à très élevées. La méthode AHP intégrée dans les SIG est ainsi, une méthode efficace et efficiente pour cartographier la susceptibilité aux inondations.

Les informations générées par cette étude pourraient être utilisées par les décideurs et les administrateurs pour développer des stratégies efficaces d'atténuation des effets des inondations.

Etant donné que notre analyse ne dépend que des facteurs physiques plutôt que sociaux ou économiques, cette carte sera indicative de la susceptibilité aux inondations plutôt que du risque.

REFERENCES

- [1] S. Wade, J. P. Rudant, K. Ba et B. Ndoeye, "Télédétection et gestion des catastrophes naturelles: applications à l'étude des inondations urbaines de saint louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à niouro-du-rip (Sénégal)", *Revue Télédétection*, vol. 8, n° 3, pp. 203-210, 2008.
- [2] F. Bonn and R. Dixon, "Monitoring flood extent and forecasting excess runoff risk with Radarsat-1 data", *Natural Hazards*, vol. 35, pp. 377-393, 2005.
- [3] L. Marinellil, R. Michel, A. Beaudoin, "Flood mapping using ERS tandem coherence image: a case study in southern France", *Proceedings of the third ERS Symposium*, ESA SP-414, Vol. 1, pp. 531-536, 1997.
- [4] G. Flouzat, C. Puech et D. Dartus, "Les observations par satellite pour l'analyse et le suivi du fonctionnement des hydro-systèmes", *Bulletin de la SFPT*, n°172, pp. 3-10, 2003.
- [5] Y. Wang, Z. Li, Z. Tang, G. Zeng, "A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China", *Water Resources Management*, vol. 25, pp. 3465-3484, 2011.
- [6] P. Fernandez, S. Mourato, M. Moreira, "Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal)", *Geomatic Natural Hazards Risk*, vol. 7, pp. 1367-1389, 2016.
- [7] D.C. Roy, T. Blaschke, "Spatial vulnerability assessment of floods in the coastal regions of Bangladesh", *Geomatic Natural Hazards Risk*, vol. 6, pp. 21-44, 2015.
- [8] T.L. Saaty "How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process", *European Journal Open Resource*, vol.48, pp. 9-26, 1990.
- [9] T. L. Saaty, "An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process", *Management Science*, vol.36, n°3, pp. 259-268, 1990.
- [10] S. Stefanidis, "Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP) *Natural Hazards*", vol. 68, pp. 569-585, 2013.
- [11] F.L. Ogden, N. Raj Pradhan, C.W. Downer, J.A. Zahner, "Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment", *Water Resources*, vol. 47, no 12, 2011.
- [12] N.S. Magesh, N. Chandrasekar, J.P. Soundranayagam, "Delineation of ground water potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques", *Geosciences Frontiers*, vol. 3, no 2, pp. 189-196, 2012.
- [13] R. Liu, Y. Chen, J. Wu, L. Gao, D. Barrett, T. Xu, J. Yu, "Assessing spatial likelihood of flooding hazard using naïve Bayes and GIS: a case study in Bowen Basin, Australia", *SERRA*, vol.30 no 6, pp. 1575-1590, 2015.
- [14] S. H. Mahmoud, T. Y. Gan, "Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East", *Journal of Cleaner Production*, Vol.196, pp. 216-229, 2018a.
- [15] H. Nuissl, D. Haase, M. Lanzendorf, H. Wittmer, "Environmental impact assessment of urban land use transitions-a context-sensitive approach", *Land Use Policy*, vol. 26 no 2, pp. 414-424, 2009.
- [16] N. N. Kourgialas, G. Karatzas, "Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas-a case study", *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques* vol. 56 no 2 pp. 212-225, 2011.
- [17] M.S. Tehrany, B. Pradhan, M.N. Jebur, "Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS", *Journal of Hydrology*, vol. 512, pp. 332-343, 2014.
- [18] D. Oikonomidis, S. Dimogianni, N. Kazakis, K. Voudouris, "A GIS/ remote sensing based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece", *Journal of Hydrology*, vol. 525, pp. 197-208, 2015.
- [19] H. E. Çelik, G. Coskun, H. K. Cigizoglu, N. Agiralioglu, A. Aydin, A. I. Esin, "The analysis of 2004 flood on Kozdere Stream in Istanbul". *Natural Hazards*, vol. 63, pp.461-477, 2012.
- [20] T. L. Saaty, *The analytic hierarchy process*, New York: McGraw Hill, pp. 281, 1980.
- [21] A. Ramos, L. Cunha, P. P. Cunha, "Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal: Figueira da Foz-Nazaré", *Geo-Eco-Trop.*, vol. 38, no 1, pp. 33-44, 2014.
- [22] T.L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process", *International Journal Service Sciences*, vol. 1, pp. 83-98, 2008.
- [23] R. V. VARGAS, Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process - AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. PMI Global Congress - North America, EUA, 2010.
- [24] T. L. Saaty, G. Vargas, "Inconsistency and rank preservation", *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 28, pp. 205-214, 1984.

Impact de la diversification des exportations sur la croissance économique: Cas de la Tunisie

[Impact of export diversification on economic growth: Case of Tunisia]

Mounir Dahmani

Department of economics, Higher Institute of Business Administration, University of Gafsa, Gafsa, Tunisia

Copyright © 2021 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 effects on growth of export diversification has been widely discussed in the economic literature, although there is currently no clear consensus on the subject on the virtues of an economic development strategy based on export diversification. This study analyzes the dynamic relationship between relationship between export diversification and economic growth in Tunisia, through the cointegration analysis based on an autoregressive distributed lag (ARDL) bounds testing approach with annual data for the period 1991-2017. The results show that growth based on export diversification is relevant for Tunisia. The econometric study has shown that investment, export diversification, increase in exported products and quality of life have a positive effect on economic growth, while financial development has a negative impact in the long term. However, the short-term impact of export diversification is more limited. The findings have economic policy implications for policymakers seeking to strengthen and improve the export diversification, stability and economic growth of their economies.

KEYWORDS: Exports diversification, economic growth, cointegration, ARDL, Tunisia.

RESUME: La relation entre la diversification des exportations et la croissance économique a été largement discutée dans la littérature économique, bien qu'il n'y ait actuellement aucun consensus clair sur le sujet. Cette étude analyse la relation dynamique entre la diversification des exportations et la croissance économique en Tunisie, à travers une analyse de cointégration basée sur l'approche de cointégration aux bornes dans un modèle autorégressif à retards échelonnés (ARDL) avec des données annuelles pour la période 1991-2017. Les résultats montrent que la croissance fondée sur la diversification des exportations est pertinente pour la Tunisie. L'étude économétrique a permis de montrer que l'investissement, la diversification des exportations, l'accroissement des produits exportés et la qualité de la vie ont un effet positif sur la croissance économique, tandis que le développement financier a un impact négatif à long terme. Néanmoins, l'impact de court terme de la diversification des exportations est plus limité. Les résultats ont des implications de politiques économiques pour les décideurs publics qui cherchent à renforcer et à améliorer la trajectoire de diversification, de stabilité et de croissance économique de leurs économies.

MOTS-CLEFS: Diversification des exportations, croissance économique, cointégration, ARDL, Tunisie.

1 INTRODUCTION

Les exportations sont considérées comme un élément important des stratégies de développement et, en particulier, dans les pays en développement en quête de croissance via l'accès à de nouveaux marchés. Par conséquent, les effets potentiels des exportations sur la croissance économique font l'objet d'intenses débats dans la littérature théorique et empirique. Les politiques de croissance orientées vers l'exportation attirent plus d'investissements directs étrangers (IDE) et contribue ainsi à

la croissance des pays en insuffisance de capitaux nationaux. Les exportations augmentent également les revenus et donc le niveau de bien-être dans les pays exportateurs avec l'effet multiplicateur qu'elles créent en favorisant ainsi les possibilités de création d'emplois. Dans le même temps, les exportations exposent les entreprises locales à la concurrence sur les marchés étrangers, les encourageant ainsi à produire avec une meilleure qualité et à moindre coût et à développer de nouveaux produits afin d'acquies un avantage compétitif. De même, en assurant le transfert de capitaux vers des secteurs plus productifs, la diversification des exportations permet une répartition optimale des ressources et l'émergence d'économies d'échelle positives.

La performance relative des exportations des pays exportateurs peut être attribuée à de multiples facteurs tels que les incitations gouvernementales, le taux de change effectif réel, la compétitivité du système national d'innovation, l'utilisation rationnelle des ressources naturelles. Alors que les incitations gouvernementales affectent positivement les résultats à l'exportation en permettant aux entreprises de s'implanter sur les marchés extérieurs, les fluctuations cycliques du taux de change effectif réel provoquent des fluctuations des performances à l'exportation. La compétitivité du système d'innovation offre, en revanche, la possibilité d'accéder à de nouveaux marchés et l'émergence de sources d'approvisionnement alternatives. L'utilisation rationnelle et durable des ressources naturelles peut contribuer à la performance d'exportation nette en jouant un rôle important dans l'émergence de technologies nationales, en particulier au-delà de son impact sur d'autres déterminants des performances à l'exportation et en réduisant la dépendance à l'égard des ressources externes ([36]).

La diversité des exportations est un autre facteur affectant les performances à l'exportation et donc la croissance économique. Des études récentes montrent, en particulier, que la diversité des exportations peut jouer un rôle important pour atténuer les fluctuations des variables macroéconomiques, en particulier les recettes d'exportation, en réduisant la vulnérabilité aux chocs sectoriels externes et aux fluctuations des prix ([18]; [19]; [16]). En fait, il existe des études qui montrent que la spécialisation dans le commerce extérieur fondée sur l'avantage comparatif entraîne des fluctuations des recettes d'exportation, ce qui conduit à une diminution des volumes d'investissement, d'exportation et d'importation, et à la privation des gains de productivité potentiels qui peuvent survenir avec l'expansion du volume des exportations ([4]; [12]; [23]; [27]; [34]; [39]). Par conséquent, l'augmentation de la diversité des exportations joue un rôle important dans la réduction des fluctuations des recettes d'exportation et donc de la croissance économique (« effet portefeuille ») et dans l'émergence de gains de productivité (« effet dynamique ») en élargissant la gamme de produits d'exportation ([2]; [10]). Une des preuves empiriques importantes des arguments susmentionnés est la performance économique des soi-disant Tigres asiatiques (la Corée du Sud, Taïwan, Singapour et Hong Kong) après la crise financière asiatique (1997). Ces pays, qui se sont spécialisés principalement dans la production et l'exportation de produits de haute qualité, sont entrés dans un processus de croissance économique rapide en adoptant des stratégies de commerce extérieur qui mettent l'accent sur la diversification des produits dans les exportations. Cependant, afin de déterminer précisément l'effet des exportations sur la croissance économique, il est nécessaire de déterminer quels produits et services ces pays exportent ainsi que la structure du marché des pays exportateurs. En fait, l'un des facteurs importants affectant les résultats à l'exportation et donc la croissance économique est la composition des exportations. Contrairement aux théories traditionnelles du commerce extérieur qui soulignent l'importance de la spécialisation et des dotations en facteurs dans le commerce extérieur, des études théoriques récentes suggèrent que la diversité des exportations peut réduire la volatilité des recettes d'exportation et donc les instabilités macroéconomiques en créant un mécanisme d'assurance contre les chocs externes sectoriels ([10]).

Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude est d'analyser la relation entre la diversité des exportations et la croissance économique en Tunisie et de guider les décideurs publics dans la formulation des politiques commerciales. Ainsi, pour répondre aux objectifs de notre recherche, dans la deuxième section; une revue de la littérature empirique sera compilée et, dans la troisième et quatrième section; les données utilisées dans l'analyse, la méthodologie et les résultats empiriques seront présentés. Enfin, dans la dernière sections les principales conclusions, les implications des résultats empiriques et les politiques qui peuvent être appliquées dans ce contexte seront discutées.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Conformément aux arguments théoriques discutés précédemment, de nombreuses études ont émergé pour déterminer les effets potentiels de la diversité des exportations sur la croissance économique à un niveau empirique, en particulier après les années 2000 ([1]; [4]; [7]; [10]; [11]; [15]; [18]; [19]; [20]; [21]; [24]; [29]; [38]). Malgré ces récentes études intensives dans la littérature, il n'existe que peu d'études qui ont tenté d'examiner la relation entre la diversité des exportations et la croissance dans le cas spécifique à la Tunisie.

[4], l'une des études pionnières de la littérature empirique, examine l'impact de la diversité des exportations sur la croissance économique en utilisant des données transversales de 91 pays couvrant la période 1961-1988. Les résultats obtenus

par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) révèlent l'effet positif de la diversité des exportations sur la croissance économique.

[24] étudient la relation entre la structure du commerce extérieur et la croissance économique pour un échantillon de 65 pays pour la période 1980-1999. Les résultats de l'estimation du panel dynamique par la méthode des moments généralisés (GMM) révèlent que l'abondance des ressources naturelles et l'intensité des exportations, en particulier, sont des déterminants importants de la croissance économique. Plus précisément, il a été déterminé que l'abondance des ressources naturelles accélère la croissance économique, tandis que l'intensité des exportations a un effet négatif sur la croissance.

[19] ont décrit l'hypothèse de croissance économique basée sur la diversité des exportations, qui est le résultat de l'apprentissage par la pratique et de l'apprentissage par l'exportation, la période 1962-2001 pour le Chili, en utilisant les données qui la couvrent. Les résultats obtenus à partir de trois méthodes de cointégration différentes, le test de cointégration de Johansen, le modèle à correction d'erreur (ECM) en deux étapes et la méthode d'estimation des moindres carrés ordinaires dynamiques (DOLS), révèlent que la diversité des exportations joue un rôle important dans la croissance économique.

[20] a étudié la relation entre la diversité des exportations et la croissance économique pour la période 1961-2000 pour l'Europe de l'Est et 99 pays à l'exclusion des pays exportateurs de pétrole. Les résultats de l'analyse réalisée à l'aide la méthode des moments généralisée (GMM) montrent que la diversification des exportations augmente le revenu par habitant. L'étude révèle également que l'effet de la diversification des exportations est potentiellement non linéaire et que les pays en développement bénéficient de la diversification des exportations, tandis que la spécialisation des exportations déclenche la croissance économique pour les économies les plus développées.

[7] examinent la relation entre la diversité des exportations et la croissance économique pour la période 1980-2007 en Malaisie. Alors que les résultats du modèle vectoriel à correction d'erreur (VECM) montrent que la diversité des exportations a un impact important sur la croissance économique de la Malaisie au cours de la période considérée, selon les résultats du test de causalité de Granger, il existe une relation de causalité unidirectionnelle de la diversité des exportations à la croissance économique.

[29] analyse la relation entre la diversité des exportations et la croissance économique dans l'Union européenne (UE) spécifiquement pour la période 1995-2009. Les résultats du modèle vectoriel autorégressif (VAR) et de la décomposition de la variance montrent que le degré de diversité des exportations est l'un des déterminants les plus importants du revenu par habitant et que 30% de la variation du revenu par habitant s'explique par la densité des exportations. L'étude a également révélé une relation non linéaire entre le degré d'intensité des exportations et le revenu par habitant. En d'autres termes, la diversité des exportations augmente dans les pays à revenu par habitant relativement faible, tandis que l'intensité des exportations augmente dans les pays à revenu par habitant relativement élevé.

[15] ont adapté le modèle de [19] à l'économie costaricienne. Selon les résultats empiriques obtenus à partir des modèles ARDL et DOLS, une relation à long terme entre la diversité des exportations et la croissance économique n'a pas été déterminée.

En utilisant l'estimateur de panel dynamique par la méthode des moments généralisée pour un échantillon de 65 pays pour la période 1965-2005, [1] révèlent que la diversité des exportations et la composition des exportations sont des déterminants importants de la croissance économique. L'étude montre également qu'après un certain niveau de diversification des exportations, la spécialisation des exportations conduit à des taux de croissance plus élevés, tandis que la diversification des exportations en dessous de la valeur seuil déclenche la croissance économique.

[35] ont étudié l'impact des exportations et des importations sur la croissance économique en Tunisie sur la période 1977-2012. En appliquant l'analyse de cointégration et les tests de causalité de Granger, ils ont constaté que les exportations et les importations ne provoquent pas de croissance économique, cependant la croissance économique cause des importations. En conclusion, ils ont indiqué que seules les importations sont considérées comme la source de la croissance économique en Tunisie.

[9] ont étudié le lien entre les exportations industrielles et la croissance économique en Tunisie pour la période 1969-2015 en utilisant le modèle de correction d'erreur vectorielle. Ils ont constaté dans leur analyse empirique qu'il existe un effet négatif entre les exportations industrielles et la croissance économique à long terme. À court terme, les analyses empiriques révèlent l'absence de relation de cause à effet entre les exportations industrielles et la croissance économique. Ces résultats s'expliquent par la mauvaise qualité des produits industriels exportés par le manque d'innovations technologiques face à un marché international caractérisé par une concurrence brutale exercée par les exportateurs européens.

[5] examinent la relation de causalité entre la diversification des exportations et la croissance économique pour la période 1968-2014 dans 10 économies émergentes. Les résultats des tests de causalité bootstrap proposé par [22] montrent que la

causalité est unidirectionnelle de la diversité des exportations à la croissance économique pour la Turquie, l'Argentine, la Colombie, l'Inde et la Malaisie, tandis qu'en Indonésie, il existe une causalité à sens unique allant de la croissance économique à la diversité des exportations. Dans les autres pays inclus dans l'échantillon, aucune relation de causalité entre la diversité des exportations et la croissance économique n'a été déterminée.

Nonobstant que la plupart des études aient confirmé l'hypothèse qu'une expansion et une diversification des exportations conduisent à une augmentation de la production, cette relation positive n'est pas toujours soutenue dans la littérature. En effet, [28] a constaté que la relation positive significative entre les exportations et la croissance économique plus souvent dans les pays développés que dans les pays les moins avancés. Il a donc soutenu qu'un niveau minimum de développement était nécessaire pour que les exportations aient un effet sur la croissance économique. De même, Chang et al. (2000) dans un contexte VAR ont examiné les relations entre les revenus, les exportations et les importations à Taïwan de 1971 à 1995. Ils ont constaté que la diversification des exportations avait un léger effet négatif sur les revenus et que, par conséquent, l'hypothèse de croissance tirée par les exportations ne s'appliquait pas à Taïwan [37]. ont cherché à tester l'hypothèse de croissance tirée par les exportations dans le cas de l'Inde sur la période 1971-2001 en utilisant différentes approches et leurs conclusions ont eu tendance à renforcer les arguments infirmant la croissance tirée par la diversité des exportations. Les mêmes constats ont été avancés par [13], [15], [17], [30], [31] et [10].

En résumé, bien qu'il existe des études dans la littérature empirique qui révèlent qu'il n'y a pas de relation significative entre la diversité des exportations et la croissance économique sur la base de pays ou du groupe de pays, ou que la diversité des exportations ralentit le taux de croissance économique, une grande partie des études soutiennent l'hypothèse de croissance basée sur la diversité des exportations ou confirment l'existence d'une relation non linéaire entre la diversité des exportations et la croissance économique. Ainsi, malgré cette abondante littérature empirique qui avait étudié le lien entre la diversification des exportations et la croissance économique, les résultats restent mitigés. À notre connaissance, cette étude fait partie des premiers efforts pour explorer l'hypothèse de croissance tirée par la diversification des exportations en Tunisie.

3 DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

3.1 MESURE DES VARIABLES ET SOURCES DES DONNÉES

Afin de saisir le lien entre la diversification des exportations et la croissance économique en Tunisie, nous utiliserons des données couvrant la période 1965-2017, collectées des rapports annuels de la Banque Mondiale. La description succincte des variables est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1. Descriptions des variables

Variables	Descriptions	Source
Y	Produit intérieur brut (prix constants de 2010)	WDI, Banque Mondiale
K	Formation brute de capital fixe (prix constants de 2010)	WDI, Banque Mondiale
IHH	L'indice de Herfindahl-Hirschman	WITIS, Banque Mondiale
NPX	Nombre de produits exportés	WITIS, Banque Mondiale
DF	Crédit intérieur fourni par le secteur financier (prix constants de 2010)	WDI, Banque Mondiale
EV	Espérance de vie à la naissance (totale en années)	WDI, Banque Mondiale

Sources: Indicateurs du développement dans le monde (WDI) et la Solution Commerciale Mondiale Intégrée (WITIS). Banque Mondiale, 2021.

3.2 MÉTHODOLOGIE

Le cadre empirique utilisé pour évaluer l'influence de la diversification des exportations sur la croissance économique est le modèle de Solow augmenté de Mankiw et al. (1992). Le modèle de base peut être formulé comme suit:

$$Y = F(K, X) = AK^{\alpha_1} X^{\alpha_i} \quad (1)$$

Où le PIB réel (Y) est une fonction du niveau de la technologie (supposé constant) utilisé dans le pays, du stock de capital (K) et de la diversité des exportations (X). Les rendements d'échelle associés à l'investissement et à la variable relative à la diversité des exportations sont indiqués par α_0 et α_i .

La désagrégation des de la relation (1) nous conduit à l'équation suivante:

$$Y_t = A \prod_{i=2}^5 K_t^{\alpha_i} X_t^{\alpha_i} \quad (2)$$

Cette relation fonctionnelle dans l'équation (2) peut alors être exprimée sous forme logarithmique:

$$\text{Log}(Y)_t = \text{Log}(A) + \alpha_1 \text{Log}(K)_t + \sum_{i=2}^5 \alpha_i \text{Log}(X)_t \quad (3)$$

Les variables choisies pour appréhender la diversification des exportations (X) sont: l'indice de Herfindahl-Hirschman (IHH), le nombre de produits exportés (NPX), le développement financier mesuré par le crédit intérieur fourni par le secteur financier (DF) et l'espérance de vie à la naissance (EV). Le choix des variables est basé sur la fréquence de leurs citations dans les recherches empiriques antérieures. De ce fait, la diversification des exportations est représentée par l'indice IHH. La valeur de l'indice IHH est comprise entre 0 et 1. Un degré élevé de concentration des exportations (diversification extrêmement faible) correspond à un indice proche de 1 tandis qu'une faible concentration des exportations (diversification élevée) est représentée par une valeur d'indice proche de 0. L'IHH reflète le degré de concentration des exportations et non de diversification. L'IHH est interprété indirectement et de manière opposée en ce qui concerne la concentration et la diversification; plus la concentration est élevée, plus la diversification est faible (cf. figure 1). Un signe négatif de concentration indique un signe positif de diversification. Nous supposons un lien direct ($\alpha_2 > 0$) entre l'IHH et la croissance du PIB. Cependant, puisque l'indice de Herfindahl-Hirschman est une mesure de la concentration des exportations, nous nous attendons à ce qu'il soit lié négativement à la croissance du PIB. Nous supposons aussi que la croissance du nombre de produits exportés exerce un effet direct sur le taux de croissance du PIB ($\alpha_3 > 0$). En effet, l'augmentation du nombre des produits exportés stimule la diffusion des nouvelles technologies dans tous les secteurs d'activité de l'économie en les exposant à la concurrence internationale; ce qui les oblige à adopter des méthodes de production plus innovantes. Le coefficient de la variable représentant le développement financier devrait être positif ($\alpha_4 > 0$) car un niveau élevé de crédits intérieurs fourni par le secteur financier garantit que davantage de fonds sont disponibles pour financer les investissements dans l'économie. L'espérance de vie est incluse dans le modèle en tant que mesure de la qualité de vie de la population qui affecte indirectement la participation de la population active aux activités économiques. Le coefficient devrait être positif ($\alpha_5 > 0$). L'importance de l'investissement pour la croissance économique est représentée par la formation brute de capital fixe. Il devrait avoir un impact positif sur la croissance économique ($\alpha_1 > 0$). En effet, une augmentation du capital en tant que facteur de production devrait se traduire par une augmentation de la croissance économique.

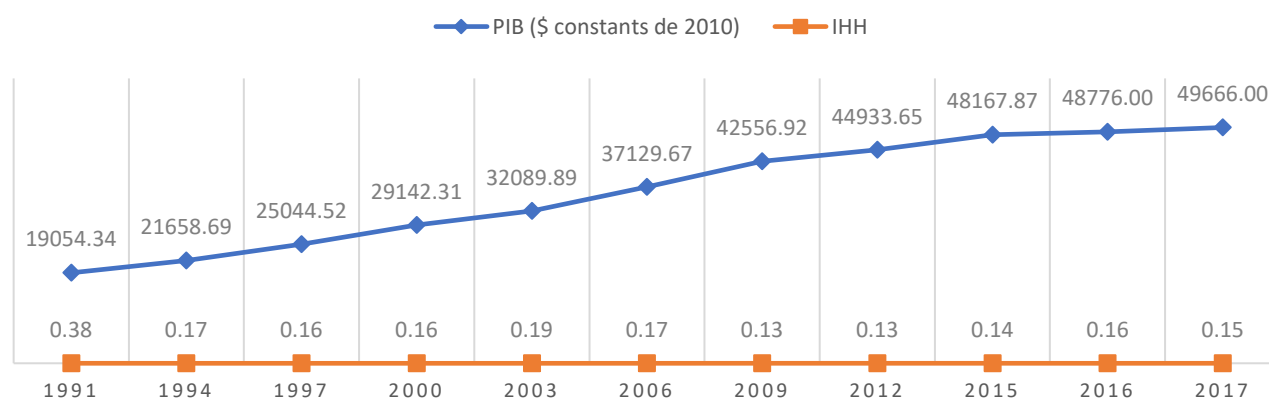


Fig. 1. Évolution de la diversification des exportations et du PIB réel en Tunisie (1991-2017)

Ainsi, l'équation (3) prend cette forme:

$$\begin{aligned} \text{Log}(Y)_t = & \text{Log}(A) + \alpha_1 \text{Log}(K)_t + \alpha_2 \text{Log}(IHH)_t + \alpha_3 \text{Log}(NPX)_t \\ & + \alpha_4 \text{Log}(DF)_t + \alpha_5 \text{Log}(EV)_t \end{aligned} \quad (4)$$

Le modèle empirique à estimer peut être exprimée ainsi:

$$\begin{aligned} \text{Log}(Y)_t = & \text{Log}(A) + \alpha_1 \text{Log}(K)_t + \alpha_2 \text{Log}(IHH)_t + \alpha_3 \text{Log}(NPX)_t \\ & + \alpha_4 \text{Log}(DF)_t + \alpha_5 \text{Log}(EV)_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

Nous avons opté pour un modèle autorégressif à retards échelonnés (Auto Regressive Distributed Lag model - ARDL) de [32] pour mener nos estimations économétriques. Notre choix se justifie par les avantages que présente cette méthode d'estimation. D'abord, le modèle ARDL appartient à la classe des modèles dynamiques qui permettent de capter les effets temporels dans l'explication d'une variable. Ensuite, il est plus approprié aux échantillons de petite taille. De plus, le modèle ARDL permet de tester les relations de long terme sur des séries qui ne sont pas intégrées de même ordre (I (0) ou I (1)). Cependant, il ne peut pas être utilisé si les séries sont intégrées d'ordre 2 (I (2)). Enfin, cette approche est intéressante en ce qu'elle permet l'élimination des problèmes résultant de l'endogénéité puisqu'elle inclut des variables retardées comme des variables explicatives.

En reformulant l'équation (5) en tant que modèle ARDL en conformité avec le cadre d'analyse de [32], nous avons:

$$\begin{aligned} \Delta \text{Log}(Y)_t = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1,i} \text{Log}(Y)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{2,i} \text{Log}(K)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{3,i} \text{Log}(IHH)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{4,i} \text{Log}(NPX)_{t-i} \\ & + \sum_{i=1}^q \alpha_{5,i} \text{Log}(DF)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{6,i} \text{Log}(EV)_{t-i} + \alpha_7 \text{Log}(Y)_{t-1} + \alpha_8 \text{Log}(K)_{t-1} + \alpha_9 \text{Log}(IHH)_{t-1} \\ & + \alpha_{10} \text{Log}(NPX)_{t-1} + \alpha_{11} \text{Log}(DF)_{t-1} + \alpha_{12} \text{Log}(EV)_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (6)$$

Où Δ désigne l'opérateur de différence, α_0 est une constante, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, et α_6 représentent la dynamique de court terme tandis que $\alpha_7, \alpha_8, \alpha_9, \alpha_{10}, \alpha_{11}$, et α_{12} reflètent la dynamique de long terme et ε_t est le terme d'erreur. Les caractéristiques de tendance ont été éliminées par différenciation. Les longueurs des retards pour chacune des variables sont représentées par p et q .

Comme pour tout modèle dynamique, nous utiliserons le critère d'information (Akaike - AIC) pour déterminer le nombre de retards optimal (p, q) du modèle ARDL.

L'estimation d'un modèle ARDL suppose l'existence d'une relation de cointégration entre les variables, qui conditionne même l'estimation de leurs coefficients à court et long terme. Lorsque plusieurs variables intégrées d'ordres différents (I (0), I (1)) sont disponibles, le test de cointégration de [32] est utilisé pour comparer les valeurs de Fisher obtenues avec les valeurs critiques (bornes). Par conséquent, l'estimation d'un modèle de correction d'erreur peut aider à confirmer si la cointégration entre les variables existe. Ce modèle prendra la forme:

$$\begin{aligned} \Delta \text{Log}(Y)_t = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1,i} \text{Log}(Y)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{2,i} \text{Log}(K)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{3,i} \text{Log}(IHH)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{4,i} \text{Log}(NPX)_{t-i} \\ & + \sum_{i=1}^q \alpha_{5,i} \text{Log}(DF)_{t-i} + \sum_{i=1}^q \alpha_{6,i} \text{Log}(EV)_{t-i} + \theta u_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (7)$$

Cette relation fera l'objet d'estimations. Ainsi, la procédure à suivre pour cette modélisation ARDL est décrite comme suit:

- Test de Dickey-Fuller augmenté (ADF), pour déterminer le degré d'intégration des variables (test de stationnarité);
- Test de cointégration aux bornes de [32] pour tester l'existence d'éventuelle relation de cointégration entre variables;
- Tests de diagnostic et de robustesse pour vérifier la qualité de l'ajustement et la stabilité du modèle ARDL estimé.

4 RÉSULTATS EMPIRIQUES

4.1 ANALYSE DE LA STATIONNARITÉ

Les résultats des tests de racine unitaire (ADF) des variables incluses dans le modèle sont présentés dans le Sur la base des résultats, les variables sont intégrées d'ordre I (0) ou I (1) justifiant l'application du modèle ARDL.

Tableau 2. Résultats des tests de racine unitaire (ADF)

Variables (en log)	En niveau		Première différence		Ordre
	Sans tendance	Avec tendance	Sans tendance	Avec tendance	
Y	-2.644*	-0.118	-4.221***	-4.760***	I (1)
K	-0.428	-1.790	-3.940***	-4.082***	I (1)
IHH	-5.294***	-4.765***	-6.780***	-6.938***	I (0)
NPX	-1.495	-1.208	-4.888***	-5.371***	I (1)
DF	-0.089	-1.357	-4.446***	-5.219***	I (1)
EV	-1.491	-1.441	-7.061***	-7.630***	I (1)

Note: *** et * indiquent que l'hypothèse nulle de racine unitaire est rejetée aux seuils de 1% et 10% respectivement.

4.2 ANALYSE DE COINTÉGRATION

Pour appliquer le test de cointégration [32], nous suivons les deux étapes suivantes:

4.2.1 DÉTERMINATION DU NOMBRE DE RETARDS OPTIMAL SELON LE CRITÈRE D'AKAIKE (AIC)

Nous utiliserons le critère d'information d'Akaike (AIC) pour sélectionner le modèle ARDL optimal, celui qui peut fournir des résultats statistiquement significatifs avec le moins de paramètres.

Comme on peut le voir sur la figure 2, le modèle ARDL (2,1,2,2,2,2) est le plus optimal parmi les 20 autres présentés, car il offre la valeur d'Akaike la plus faible.

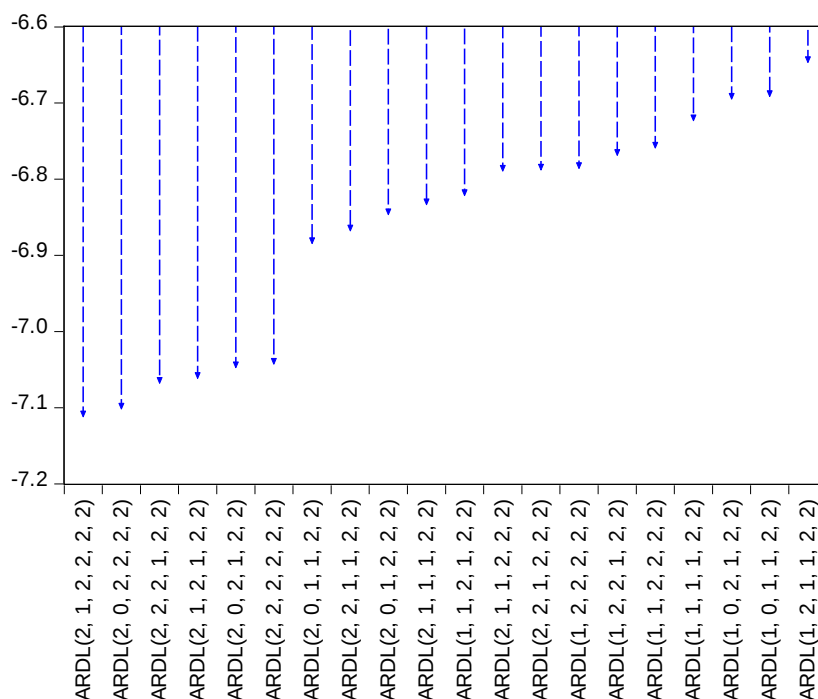


Fig. 2. Détermination du nombre de retards optimal

4.2.2 TEST DE COINTÉGRATION AUX BORNES (BOUNDS TEST)

Suite à la procédure automatique sur Eviews 12, le test de cointégration aux bornes de [32] exige que le modèle ARDL soit préalablement estimé. La statistique de test est calculée, la valeur de la statistique F de Fisher sera comparée aux valeurs critiques (qui forment des bornes) comme suit:

Tableau 3. Résultats du test de cointégration

Variables	Y; K; IHH; NPX; DF; EV	
F-stat. calculée	12,15054	
Niveau de significativité	Borne inférieure I (0)	Borne supérieure I (1)
1%	3,06	4,15
2.5%	2,70	3,73
5%	2,39	3,38
10%	2,08	3,00

Source: Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

Les résultats de la procédure « bounds test » ci-dessus (cf. Tableau 3) confirment l'existence d'une relation de cointégration entre les séries étudiées. En effet la statistique de Fisher ($F=12,15054$) est supérieure à la borne supérieure (4,15), ce qui nous permet d'appliquer une estimation basée sur un modèle ARDL pour déterminer les effets à long terme de la diversification des exportations sur la croissance du PIB.

4.3 TESTS DE DIAGNOSTIC ET DE ROBUSTESSE

Les tests de diagnostic et de robustesse nous aident à vérifier la qualité de l'ajustement et l'adéquation du modèle aux données. Les résultats du tableau 4 ont révélé que l'équation (7) a réussi le test de diagnostic. En effet, les résultats reportés dans le tableau 4 et les figures 3 et 4 ont montré que le modèle est correctement spécifié puisque la valeur de la statistique F du test de Ramsey RESET est significative au seuil de 1%. Nous avons également conclu que les erreurs étaient normalement distribuées puisque la valeur de la probabilité associée à la statistique du test de Jarque-Bera était de 0,4445 et supérieure au niveau de significativité de 5%. Le test de Breusch-Pagan-Godfrey pour l'hétéroscédasticité a révélé que la valeur de la probabilité associée à la statistique F était supérieure au seuil de significativité de 5%. Par conséquent, nous avons accepté l'hypothèse nulle de la constance de la variance du terme d'erreur (homoscédasticité). Le test de Breusch-Godfrey a été effectué pour détecter d'éventuels problèmes d'autocorrélation des erreurs. Étant donné que la valeur de la probabilité de 0,1261 était supérieure au niveau de signification de 5%, nous avons accepté l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation des résidus et, à ce titre, les estimations sont valides.

Tableau 4. Résultats des tests de diagnostic pour le modèle ARDL

Test	Stat. du test	Probabilité	Hypothèse nulle (H_0)	Conclusion
Test de Breusch-Pagan-Godfrey	0,5995	0,8169	H_0 : Variance constante (homoscédasticité)	H_0 non rejetée
Test de Breusch-Godfrey	2,7066	0,1346	H_0 : Absence d'autocorrélation	H_0 non rejetée
Test de normalité de Jarque-Bera	1,6215	0,4445	H_0 : Distribution normale	H_0 non rejetée
Test RESET de Ramsey	1,2399	0.2550	H_0 : Modèle correctement spécifié	H_0 non rejetée

Source: Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

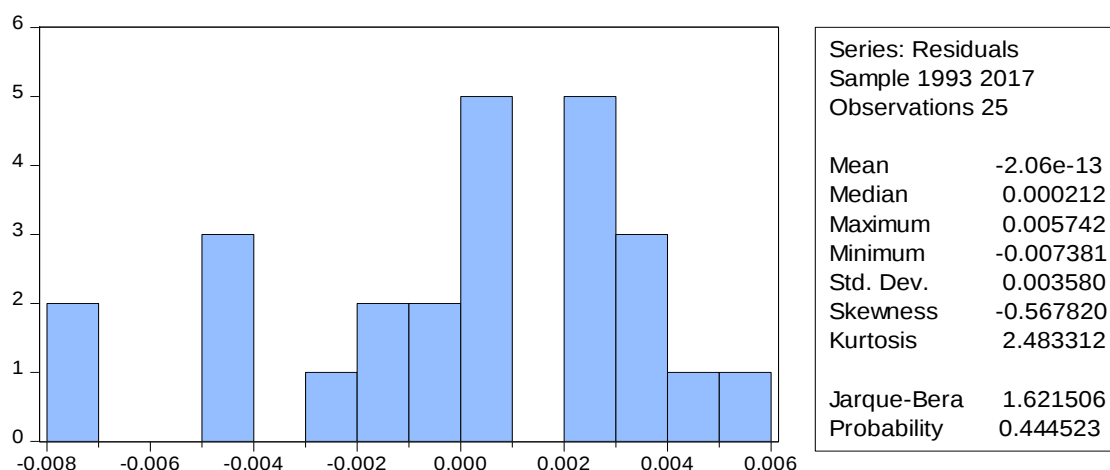


Fig. 3. Résultats du test de normalité des erreurs

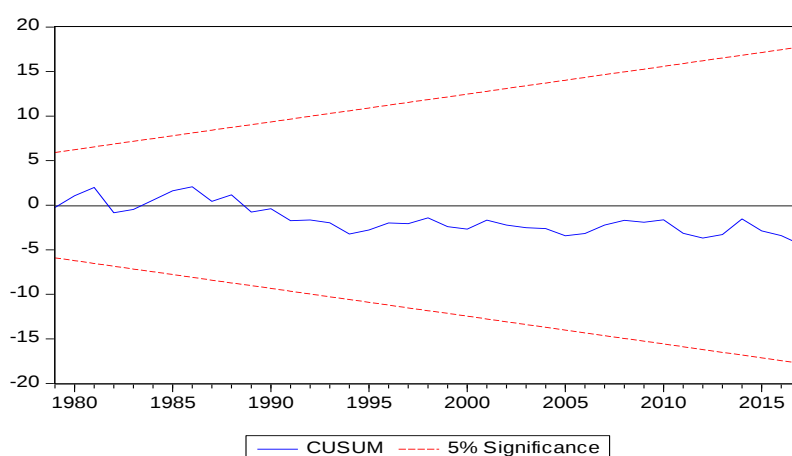


Fig. 4. Résultats du test de CUSUM

4.4 RÉSULTATS DE LA RELATION À LONG TERME

Les résultats du tableau 5 ont révélé que la plupart des variables sont significatives et ont les signes attendus. Le résultat des estimations pour la plupart des variables est conforme aux attentes théoriques. Le développement financier était la seule variable qui défiait les attentes. Cela a montré que les variables incluses dans le modèle avaient un impact significatif à long terme sur la croissance économique dans le cas de la Tunisie.

Les résultats ont montré que la formation brute de capital fixe, qui est un indicateur de l'investissement, a une relation positive et statistiquement significative avec la croissance économique comme prévu. Autrement, la relation positive et significative entre la formation brute de capital fixe et la croissance du PIB réel suggère que l'investissement en Tunisie stimule la croissance économique. Ce constat est également cohérent avec la littérature existante sur la croissance économique qui met l'accent sur l'intensité capitaliste. Ceci implique également qu'une augmentation d'un point de pourcentage de la formation brute de capital fixe augmenterait la croissance de 0,12 pourcent. En outre, ce résultat est d'autant plus intéressant que, dans le cas de la Tunisie, l'instabilité politique et sécuritaire post-révolutionnaire post-révolution, les conflits sociaux et le coût de la lutte contre le terrorisme ont détérioré le climat d'affaire et d'investissement et ont fortement contribué à dissuader les investisseurs étrangers et locaux.

Les résultats de la diversification des exportations ne sont pas directement interprétés. Il convient de noter que l'indice de Herfindahl-Hirschman (IHH), utilisé comme indicateur de diversification des exportations, mesure la concentration des exportations. Ainsi, une forte concentration des exportations (valeur de l'indice IHH proche de 1) reflète une faible diversification des exportations. En revanche, une faible concentration des exportations (valeur de l'indice IHH proche de 0) indique une forte diversification des exportations. Par conséquent, étant donné que l'indice utilisé est une mesure inverse de la diversification, un coefficient négatif indique donc une relation positive entre la diversification des exportations et la

croissance. Par ailleurs, les résultats du tableau 5 suggère également qu'une augmentation de 1% de la concentration des exportations entraînerait une diminution de 0,07% du taux de croissance du PIB réel. On peut donc affirmer qu'à long terme, la diversification des exportations a un effet positif sur la croissance économique en Tunisie.

Ce dernier résultat est confirmé par l'impact positif du nombre de produits exportés sur la croissance du PIB réel. En effet, nos résultats ont montré que le coefficient de cette variable est positif et statistiquement significatif au seuil de 1% suggérant qu'une augmentation de 1% du nombre de produits exportés conduirait à une augmentation de 0,81% du taux de croissance économique. Il est donc recommandé aux autorités du pays de redoubler d'efforts en matière de diversification des exportations. Le Tunisie peut ainsi, progressivement, s'éloigner de l'exportation principalement de matières premières pour exporter de nouveaux produits à forte valeur ajoutée. Nos résultats sont cohérents avec ceux de [25] au Maroc et de [14] au Nigéria. Ils ont constaté qu'une plus grande diversification des exportations conduirait à un niveau plus élevé de croissance économique.

Le développement financier a un impact négatif et significatif sur la croissance économique contrairement aux attentes. Cela implique qu'une augmentation de 1% des crédits intérieurs fournis par le secteur financier entraînerait une diminution de 0,32% de la croissance économique. Ce résultat suggère que le niveau des crédits intérieurs dans l'économie tunisienne est faible et ne permet pas de financer assez les investissements. Ce résultat contraste fortement avec les travaux de [6]; [8]; [33].

L'espérance de vie a un impact positif et significatif sur la croissance économique comme prévu. D'ailleurs, une augmentation unitaire de l'espérance de vie augmenterait la croissance de 10,21%. Cela implique que, à mesure que la santé et de la qualité de vie de la population s'améliore, il y aura une augmentation de la production réelle et vice versa en raison de l'augmentation des activités économiques. Cette thèse est tout à fait en accord avec les résultats de [3]; [26]; [40].

Tableau 5. Résultats de l'estimation du modèle ARDL à long terme

Variable	Coefficient	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
LOG (K)	0,125551	0,045795	2,741602	0,0254
LOG (IHH)	-0,077592	0,022576	-3,436998	0,0089
LOG (NPX)	0,811078	0,119616	6,780688	0,0001
LOG (DF)	-0,329075	0,097849	-3,363107	0,0099
LOG (EV)	10,21989	1,324817	7,714194	0,0001

Source: Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

4.5 RÉSULTATS DE LA RELATION À COURT TERME

Les résultats du tableau 6 ont révélé que la performance globale du modèle est satisfaisante, certaines des variables indépendantes ayant l'effet attendu à court terme sur le taux de croissance du PIB. Le résultat des estimations pour la plupart des variables est conforme aux attentes théoriques. Cela montre que les variables incluses dans le modèle ont un impact significatif à court terme sur la croissance économique dans le cas de la Tunisie. Les crédits intérieurs étaient la seule variable qui révélait de signe contraire. En effet, la révolution tunisienne a engendré plusieurs perturbations financières, ce qui a affecté l'offre de crédits par le système financier sans oublier le manque de maturité de ce dernier. Ce résultat appelle à la restructuration et libéralisation du secteur financier en vue de renforcer l'investissement par la réduction des taux d'intérêt, l'octroi de prêts, ce qui favoriserait à terme la croissance.

La variation du taux de croissance du PIB réel a un impact positif et significatif sur le taux de croissance du PIB réel à court terme, ce qui suggère que l'amélioration de l'économie contribue à la croissance économique. En outre, l'évolution de la formation brute de capital fixe a maintenu sa relation positive et significative avec la croissance du PIB réel à court terme, ce qui est conforme aux résultats à long terme. Cela signifie que la croissance économique augmenterait de 0,20% pour cent, si l'investissement était approfondi de 1%.

L'impact de la diversification des exportations de l'année précédente sur le taux de croissance PIB réel est positif et significatif à court terme. Cela signifie que la croissance économique augmenterait de 0,08% pour cent si le taux de croissance de la diversification des exportations était augmenté de 1%. Ceci est cohérent avec le résultat de l'équation de croissance à long terme. Toutefois, cette dernière variable n'a pas d'impact significatif si la variable n'est pas décalée d'une année. De même, le nombre de produits exportés semble n'avoir pas d'effet sur la croissance économique à court terme. Le coefficient de la variable NPX n'est pas significatif pour le modèle ARDL estimé. Par ailleurs, les résultats de nos estimations confirment l'impact positif à court terme de l'espérance de vie sur la croissance économique.

Enfin, les résultats indiquent aussi que le coefficient estimé du terme à correction d'erreur (ECT) est négatif et significatif au seuil de 1 %, ce qui confirme l'existence de relations de cointégration et donc de mécanismes de convergence vers la l'équilibre de long terme.

Tableau 6. Résultats de l'estimation du modèle ARDL à court terme

Variable	Coefficient	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
DLOG (Y (-1))	0,327488	0,157230	2,082855	0,0708
DLOG (K)	0,201341	0,045197	4,454717	0,0021
DLOG (IHH)	0,004983	0,020439	0,243788	0,8135
DLOG (IHH (-1))	0,036088	0,018117	1,991920	0,0815
DLOG (NPX)	0,129846	0,140151	0,926470	0,3813
DLOG (NEX (-1))	-0,144499	0,136757	-1,056608	0,3216
DLOG (DF)	-0,336128	0,134638	-2,496539	0,0371
DLOG (DF (-1))	0,376162	0,096798	3,886048	0,0046
DLOG (EV)	354,8856	65,74096	5,398242	0,0006
DLOG (EV (-1))	-273,3084	54,60049	-5,005603	0,0010
ECT	-1,084119	0,088861	-12,20017	0,0000

Source: Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12,

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans ce papier nous avons étudié la relation entre la diversification des exportations et la croissance économique en Tunisie pour la période 1991-2017. L'indice de Herfindahl-Hirschman a été utilisé pour mesurer la diversification des exportations. Un modèle autorégressif à retards échelonnés (ARDL) a été utilisée pour l'estimation de l'analyse empirique. Les résultats ont révélé que la diversification des exportations avait une relation positive et significative avec la croissance économique en Tunisie, ce qui implique qu'un taux de croissance économique plus élevé serait enregistré en Tunisie en raison d'un taux plus élevé de diversification des exportations (moins de concentration). L'importance de la variable de diversification des exportations indique la nécessité pour la Tunisie de s'engager plus efficacement dans le processus de diversification des produits d'exportation, car tout progrès dans ce domaine pourrait stimuler la croissance et renforcer encore la résilience. Afin de tirer pleinement profit des effets positifs de la diversification sur la croissance économique, une transformation structurelle serait la voie idéale à suivre. Cela impliquerait un passage des secteurs à faible productivité aux secteurs à haute productivité (secteurs innovants). Les produits à cibler en premier lieu sont ceux qui ne nécessitent qu'une modification minimale de la structure de production existante, le pays n'ayant pas toute la capacité financière pour entreprendre un changement radical de sa structure productive.

Cependant, étant donné que nos résultats ont montré que l'accroissement du nombre des biens et de services exportés a contribué de manière positive et significative à la croissance économique, des politiques de promotion des exportations devraient être élaborées et appuyées pour stimuler la croissance. En outre, il faudrait créer un environnement propice à l'attrait des investissements directs étrangers dirigés à l'exportation. Mettre en place des infrastructures de transport et de communication efficaces, en œuvrant pour l'emploi de main-d'œuvre qualifiée, en développant des opportunités de coopération entre l'industrie et les universités en particulier, un environnement politique stable et en améliorant les connaissances techniques et juridiques des entreprises, seraient les moyens d'améliorer l'environnement des affaires.

Aussi, l'étude a révélé que la croissance économique en Tunisie serait stimulée si la promotion des exportations était soutenue par des investissements accrus dans la formation de capital et des améliorations de la qualité de la vie puisque ces deux variables avaient un effet positif et significatif avec sur la croissance du PIB réel.

REFERENCES

- [1] Aditya, A., & Acharyya, R. (2013). Export diversification, composition, and economic growth: Evidence from cross-country analysis. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 22 (7), 959–992. <https://doi.org/10.1080/09638199.2011.619009>.
- [2] Agosin, M. R. (2008). Export diversification and growth in emerging economies. *Revista CEPAL, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL*, 97, 115–131.
- [3] Alhassan, G. N., Adedoyin, F. F., Bekun, F. V., & Agabo, T. J. (2020). Does life expectancy, death rate and public health expenditure matter in sustaining economic growth under COVID-19: Empirical evidence from Nigeria? *Journal of Public Affairs*, 2302, e2302. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/pa.2302>.
- [4] Al-Marhubi, F. (2000). Export diversification and growth: An empirical investigation. *Applied Economics Letters*, 7 (9), 559–562. <https://doi.org/10.1080/13504850050059005>.
- [5] Altiner, A., Ayran Cihan, K., & Bozkurt, E. (2018). Export Diversification And Growth: A Bootstrap Panel Causality Analysis For Selected Emerging Market Economies. *Journal of management and economics research*, 16 (3), 24–36. <https://doi.org/10.11611/yead.449317>.
- [6] Arif, A., Sadiq, M., Shabbir, M. S., Yahya, G., Zamir, A., & Bares Lopez, L. (2020). The role of globalization in financial development, trade openness and sustainable environmental-economic growth: Evidence from selected South Asian economies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 18 (1), 2043–0795. . <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1861865>.
- [7] Arip, M. A., Yee, L. S., & Karim, B. A. (2010). Export diversification and economic growth in Malaysia. MPRA Paper No: 20588. Munich Personal Repec Archive.
- [8] Asghar, N., & Hussain, Z. (2014). Financial development, trade openness and economic growth in developing countries: Recent evidence from panel data. *Pakistan Economic and Social Review*, 52 (2), 99–126.
- [9] Bakari, S., Mabrouki, M., & Elmakki, A. (2018). The Nexus Between Industrial Exports And Economic Growth In Tunisia: Empirical Analysis. *Journal of Smart Economic Growth*, 3 (2), 31–53.
- [10] Benli, M. (2020). Export Diversification and Economic Growth: Evidence From Emerging Economies. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 55, 285–298. <https://doi.org/10.18070/erciyesiid.609237>.
- [11] Cadot, O., Carrere, C., & Strauss-Kahn, V. (2011). Export Diversification: What's behind the Hump? *The Review of Economics and Statistics*, 93 (2), 590–605. https://doi.org/10.1162/REST_a_00078.
- [12] Carrasco, C. A., & Tovar-Garcia, E. D. (2020). Trade and growth in developing countries: The role of export composition, import composition and export diversification. *Economic Change and Restructuring*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10644-020-09291-8>.
- [13] Duru, I. U., & Ehidihamen, P. O. (2018). Diversification on economic growth: Evidence from Nigeria, 1980-2016. *Journal of Economics. Management and Trade*, 21 (7), 1–24.
- [14] Esu, G. E., & Udonwa, U. (2015). Economic diversification and economic growth: Evidence from Nigeria. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6 (16), 56–69.
- [15] Ferreira, G., & Harrison, W. (2012). From coffee beans to microchips: Export diversification and economic growth in Costa Rica. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 44 (4), 517–531. <https://doi.org/10.1017/S1074070800024081>.
- [16] Giri, R., Quayyum, S. N., & Yin, R. J. (2019). Understanding Export Diversification: Key Drivers and Policy Implications. IMF Working Paper No. 19/105.
- [17] Gozgor, G., & Can, M. (2016). Effects of the product diversification of exports on income at different stages of economic development. *Eurasian Business Review*, 6, 215–235. <https://doi.org/10.1007/s40821-016-0045-5>.
- [18] Haddad, M., Lim, J. J., Pancaro, C., & Saborowski, C. (2013). Trade openness reduces growth volatility when countries are well diversified. *The Canadian Journal of Economics. Revue Canadienne d'Economie*, 46 (2), 765–790. <https://doi.org/10.1111/caje.12031>.
- [19] Herzer, D., & Nowak-Lehmann, D. F. (2006). Export diversification, externalities and growth: Evidence for Chile. *Proceedings of the German Development Economics Conference, Berlin*, 12, 1–25.
- [20] Hesse, H. (2008). Export diversification and economic growth. World Bank Commission on Growth and Development Working Paper No. 21. World Bank Open Knowledge Repository.
- [21] Imbs, J., & Wacziarg, R. (2003). Stages of Diversification. *The American Economic Review*, 93 (1), 63–86. . <https://doi.org/10.1257/000282803321455160>.
- [22] Konya, L. (2006). Exports and growth: Granger causality analysis on OECD countries with a panel data approach. *Economic Modelling*, 23 (6), 978–992. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2006.04.008>.
- [23] Lectard, P., & Rougier, E. (2018). Can Developing Countries Gain from Defying Comparative Advantage? Distance to Comparative Advantage, Export Diversification and Sophistication, and the Dynamics of Specialization. *World Development*, 102, 90–110. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.09.012>.

- [24] Lederman, D., & Maloney, W. F. (2008). Trade structure and growth in Natural Resources: neither curse nor destiny. Stanford University Press.
- [25] Lotfi, B., & Karim, M. (2017). Export diversification and economic growth in Morocco: An econometric analysis. *Applied Economics and Finance*, 4 (6), 27–3. <https://doi.org/10.11114/aef.v4i6.2673>.
- [26] Mahumud, R. A., Hossain, G., Hossain, R., Islam, N., & Rawal, L. (2013). Impact of Life Expectancy on Economics Growth and Health Care Expenditures in Bangladesh. *Universal Journal of Public Health*, 1, 180–186. . <https://doi.org/10.13189/ujph.2013.010405>.
- [27] Mania, E., & Rieber, A. (2019). Product export diversification and sustainable economic growth in developing countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 51, 138–151. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.08.006>.
- [28] Michaely, M. (1977). Export and growth: An empirical investigation. *Journal of Development Economics*, 4, 49–54. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(77\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0304-3878(77)90006-2).
- [29] Miształ, P. (2011). Export diversification and economic growth in European Union member states. *Oeconomia*, 10 (2), 55–64.
- [30] Munir, K., & Javed, Z. (2018). Export composition and economic growth: Evidence from South Asian countries. *South Asian Journal of Business Studies*, 7 (2), 225–240. <https://doi.org/10.1108/SAJBS-10-2017-0117>.
- [31] Nwosa, P. I., Tosin, F. O., & Ikechukwu, O. M. (2019). Export diversification and economic growth in Nigeria. *Signifikan. Jurnal Ilmu Ekonomi*, 8 (2), 227–234.
- [32] Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16 (3), 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>.
- [33] Polat, A., Shahbaz, M., Rehman, I. U., & Satti, S. L. (2015). Revisiting linkages between financial development, trade openness and economic growth in South Africa: Fresh evidence from combined cointegration test. *Quality & Quantity*, 49, 785–803. <https://doi.org/10.1007/s11135-014-0023-x>.
- [34] Rath, B. N., & Akram, V. (2017). Export diversification and total factor productivity growth in case of South Asian region. *Journal of Social and Economic Development*, 19, 196–210. <https://doi.org/10.1007/s40847-017-0037-z>.
- [35] Saeed, J. A. A., & Hussain, A. M. (2015). Impact of Exports and Imports on Economic Growth: Evidence from Tunisia. *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Science*, 6 (1), 13–21.
- [36] Shahzad, U., Doğan, B., Sinha, A., & Fareed, Z. (2021). Does Export product diversification help to reduce energy demand: Exploring the contextual evidences from the newly industrialized countries. *Energy*, 214, 118881. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118881>.
- [37] Sharma, A., & Panagiotidis, T. (2005). An analysis of exports and growth in India: Cointegration and causality evidence (1971-2001). *Review of Development Economics*, 9 (2), 232–248. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9361.2005.00273.x>.
- [38] Siddiqui, A. (2018). Export diversification and growth in Pakistan: An empirical investigation from 1972 to 2015. *Business and Economic Review*, 10 (1), 107–132. <https://doi.org/10.22547/BER/10.1.5>.
- [39] Teignier, M. (2018). The role of trade in structural transformation. *Journal of Development Economics*, 130 (C), 45–65. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.09.002>.
- [40] Wang, Z., Asghar, M. M., Zaidi, S. A. H., Nawaz, K., Wang, B., Zhao, W., & Xu, F. (2020). The dynamic relationship between economic growth and life expectancy: Contradictory role of energy consumption and financial development in Pakistan. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.03.004>.

The constituents of beauty in the interior design and the human health

Amany Mashour Hendy

Associate professor, Department of Interior design and Furniture, Damietta University, Egypt

Copyright © 2021 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 the development of the science disciplines, scientists and philosophers discovered some relationships between good design and a person's psychological health that lead to physical health. The internal environment elements' aesthetic features may enhance human health and relieve him of contemporary life pressures and difficulties. Hence, the research issue determines the beauty standards in interior design through questionnaires and literature reviews that can judge the beauty or the ugliness of the interior space. What are the reasons for the sense of beauty? What are the motivations of beautiful feelings toward interior designs? And if there is a relationship between aesthetic feelings towards interior spaces and human health. Therefore, the research aims to identify the criteria that achieve the beauty of internal space, the standards that lead to it in the interior spaces, and its relation to human health physically, psychologically, and spiritually.

KEYWORDS: Philosophy of interior aesthetics, Standards of interior beauty, Psychological motivations, Psychological Health, Interior perception.

1 INTRODUCTION

The scientists disagree about the definitions of beauty; therefore, there is no specific criterion that helps us describe beauty. As a result, several definitions of beauty were established by artists and philosophers. **Invalid source specified.** Consequently, people's opinions differed when assessing the different designs, especially in their internal spaces.

As many scholars and philosophers differed in defining beauty throughout history. The Greek saints defined it in absolute values. Then it was established in the interior design by different civilizations with different beliefs to be shown clearly in the elements of the interior design that is represented in ratios, balance harmony and unity... etc. At the beginning of the twentieth century, with the advent of the industrial revolution to life's details, aesthetic values are declined in various design works. They soon retook the lead in the last decade of the same century with a clear number of art movements and styles ensuring beauty in contrast to the established classical arts in the previous era, free from all restrictions and expressing the subjectivity of the designer, life developments, and mechanization, to crystallize in the ability to abstract, express, add and differ... etc.

With the succession of art styles in the 21st century and the diversity of ideas that cope with the continuous technological development has become difficult to define the essence of beauty, especially with different cultures, different individuals' nature of life and their aspirations as well as their need from interior space, with the emergence of movements and trends calling for the identification of the former aesthetic values and linking them to future aspirations. This research investigates the essence of beauty in interior design and its factors through the questionnaire study on a random sample and analyzing its views on the determination of the aesthetic factors within internal spaces to be supported by clear characteristics that contribute to increasing the connection between human and place as man stays about 90% of his time in the internal spaces.

In describing beauty within internal spaces, David Brown (good design is a form of respect) said that it must be compatible with the human being physically, psychologically, and spiritually. Paul Rand says (design is so simple that's why it's so complicated) that means it may be easy for the designer to layout his lines while challenging comes to please patrons. As for Karim Rashid, he says that design is close to human beings. It is related to improving his life in all aspects, poetic, aesthetic, experimental, sensual, and emotional. Harmutt Esslinger said that a good design should reflect the individual's history,

expressing his rhyming background and memories to extend to address his soul. **Invalid source specified.** finally Kenza said (beauty as a set of harmonious relationship and balance between object, environment and man) **Invalid source specified.**

2 THE PERCEPTION OF BEAUTY WITHIN THE INTERIOR SPACES

The beauty perception formulates three stages that begin with the visualization stage, visualizing the internal spaces' characteristics. The eye captures the inner space, and then the information received by the eye moves to the brain, where the stage of interpretation of the meanings and signals begins. According to the mental interpretation, what are these signs, which depends on what was stored of memories, situations, forms, and meanings?

Then comes the third stage, which is known as the stage of judgment related to the previous stage. The mind realizes what the eye imagined and retrieves the meanings and signs of the function, and then issued the judgment determining the visualized design being beautiful or ugly. The desirability of interior design requires the meeting of several factors within the internal spaces. These factors or influences come together to stimulate the senses of the person who interacts with them, which give signals to the mind, which absorbs and analyzes them, and then issues a judgment in terms of the design, whether it is beautiful or ugly.

Every interior space sends messages to the human addressing himself **Invalid source specified.** through the interior design elements, which are represented in the internal space with its contents, the technical systems used for internal processing and environmental control, the building envelope, and its relationship to the internal space and the environment. These sent messages evoke feelings of acceptance, satisfaction, comfort towards these messages, or rejection and aversion. The impact of these messages differs from one individual to another according to his personal, social, and cultural characteristics. According to the nature of the element and its importance to the person and his cognitive power, the messages sent depend on the characteristics of the internal void, collectively or separately. Still, their meeting together has the greatest impact on the perception, especially when the void contents are integrated to emphasize the message that it sends to that person.

When the beautiful design excites the person, it addresses the human senses, pleases the eye, pushes the hand to touch the elaborate details, and enhances satisfaction with the interior design, which stirs the feelings. Teknion says that when the design touches a person intellectually, emotionally, and physically represented in the mind, body, and spirit, we have reached the ideal triad. Upon it, the soul is free and wonderful when satisfied, or the soul is tormented. **Invalid source specified.**

3 THE MOTIVATION OF BEAUTIFUL FEELINGS TOWARD INTERIOR DESIGN

The interior designs are varied, beautiful, medium, and ugly. The individual's perception of its beauty is dominated by the personal traits of the individual and his social and cultural background, and the beauty of the inner space itself as a result of creativity designed either through the design idea or one of the distinguished elements of space with a distinctive characteristic of form or function.

A person's appreciation of beauty and satisfaction differs from one designed space to another. It is related to the function associated with the activities that are practiced inside. So, the beauty of the working spaces differs from the shopping areas. The one who passes and waits in it differs from the living spaces. Etc. However, the residential areas come at the forefront of places that a person seeks to satisfy his aesthetic desires in its folds. It represents a symbolic and psychological significance to man, as it is that place that reflects the past, present, and future **Invalid source specified.** due to carrying with him Memories, contemporary events, dreams, and visions of the future.

Factors and elements that meet to feel human beauty or ugliness in the interior design are determined in the human character and his social and cultural traits, Trendy and contemporary factors, Functional and comfortable interior factors, Environmental and healthy factors, and interior elements characteristics (shape factors).

3.1 HUMAN CHARACTER AND HIS SOCIAL AND CULTURAL TRAITS

the special characteristics of the recipient person, his previous experiences and stored memories, The sense of beauty is subjective (differs from one person to another). Still, there is also the difference in the individual's beauty standards during his life stages, so what is considered beautiful for somebody changes across time. There is a change in the individual's characteristics, especially for the gained experiences during these stages.

This could be the most important and main reason behind the different opinions and points of the interior designers' views towards interior design other than other individuals who use space. As their experiences grow during short periods of time, as

their familiarity with many designs during their various works gives them experience in recognizing ordinary designs, it is difficult to provoke their senses to feel beauty except for new, creative, and distinctive ideas.

3.2 INTERIOR ELEMENTS CHARACTERISTICS (SHAPE FACTORS)

The formal characteristics of interior design elements are the first to provoke human senses either negatively or positively. Hence, it affects the sense of beauty or feeling of ugliness in the interior spaces and includes these factors sizes and shapes, proportion, ratio, colors, patterns, decorations, inscriptions, and textures, either smooth or polished and so on. The consistency of the elements and the contents of the space require the arrangement and good choice of these characteristics in their meeting together for the interconnection of the general design idea of the internal space.

Textures play an essential role in changing the scenes of interior places, especially with varied materials and the diversity of the light effects on the internal surfaces, affecting human perception and health. The result of increasing or decreasing used textures within internal spaces varies from person to another, according to his personal characteristics, social and cultural background. With time-changing dynamic patterns, they have a more substantial impact on humans due to their repetition and constant change, especially those used to simulate nature's elements of water and plants because of their calming and positive effect on the human psyche. **Invalid source specified.**

Simplicity in beauty/ Beauty in simplicity: the ease of perception and comprehension are from the preferred and needed things for those who use space or workplaces. The perception process may take the time that varies according to personal abilities. Individuals' perceptions may also differ the second time from the first, and for places people used to visit, it doesn't take time to consider.

Social and cultural considerations: some prefer that the interior design's general features be fixed and firmly rooted in details of the past with cultural origins that give different feelings between originality and serenity and perhaps belonging and familiarity with elements and details of interior design.

Coordination and organization: Organizing the internal space has a marked effect on the psychological health of the individual, so providing storage areas and keeping the used tools for various activities in specific places supports the coordination of internal spaces. The harmonious and calm environment supports human health, as it works to reduce levels of the stress hormone, which reduces blood pressure, relieves depression and improves mood, in contrast to the unorganized and overlaying environment that calls for chaos, annoyance and discomfort. **Invalid source specified.**

3.3 FUNCTIONAL AND COMFORTABLE FACTORS

The sense of beauty isn't achieved in interior design work without achieving the functional aspects and comfort factors in dealing with internal space elements and practicing different human activities.

Creating the space to receive a specific activity requires the provision of tools of activity/tools necessary for practicing this activity to provide natural, environmental, functional, and technological conditions appropriate to the activity's quality. The meeting of these factors together following the human nature and activity based on the ideal creation of the interior space and thus, human habitation and his sense of happiness. The sense of beauty, as Stendhal said, Beauty is the promise of happiness. (Oregon State University, n.d., P.2)

3.4 TRENDY AND CONTEMPORARY FACTORS

Other people prefer the contemporaneity of design. Contemporaneity here means for a design to cope with the latest trends (to be trendy). That is when it follows a color scheme and accessories with design lines that dominate the global arena, representing this year's fashion.

Contemporary life requirements impose on the person to seek possession of some characteristics within his residence, office, or any place where he settles. Human requirements and technological needs vary between equipment and appliances and the technological control of internal space elements to facilitate handling and facilitate the availability of ease and speed of performing activities inside it. The need for marketing is determined in the desire to keep up with and cope with the prevailing fashion and the global trends to make a man feel the value of the space and be proud of its contents.

3.5 ENVIRONMENTAL AND HEALTHY FACTORS

Health issues related to public health and internal air quality, where diseases are caused by poor ventilation and bad air in the internal spaces, due to internal pollution caused by raw materials used in the interior spaces with the design is unable to treat the disadvantages resulting from human activities inside, design treatments and technology used from inside.

The human feeling of safety stems from the provision of his general health requirements and environmental compatibility in space's general design and its elements and selecting raw materials.

3.5.1 ASSOCIATION TO NATURE

Some people feel the beauty in its association to nature, through the intimacy with human's familiar things, or maybe for its simplicity in its ability to be dealt with. Nature to humans represents physiological and spiritual comfort for its life and its familiar home elements. Humans prefer to deal with familiar things because understanding their details is a simple thing for them. As a result, they can deal with it easily.

The need for a return to nature: where this demand emerged after man's suffering to create isolation in closed spaces inside buildings away from nature, which he destroyed, and when he is in dire need of it. Returning to nature in its simplicity, serenity, and its interconnection with outdoor spaces in a manner that reinforces human activity inside and improves his psychological and health state.

Nature has a positive effect on a person's psychological health. Some studies have proven that bringing green spaces within internal spaces and connection with nature helps relax the mind and get rid of fears and daily pressures. Man constantly needs to communicate with nature in the term biological hypothesis, which is confirmed by biophilic design. Therefore, the idea of transferring some relaxing effects of nature into interior space designs supports human well-being. **Invalid source specified.**

People are seduced by the beauty of nature regardless of their personal, social and cultural characteristics. Nature carries from beauty what captivates man in all his psychological conditions as a result of its permanent change and its limitless variation, that nature which upon analysis was discovered that it follows all the aesthetic rules that man has reached up to our time. **Invalid source specified.**

3.5.2 INTERIOR BEAUTY AND HEALTH

The sense of beauty differs for people from one place to another. People usually feel a general improvement in their mental health when seeing nature and its picturesque views. Its effect extends to human physical health and comfort, as doctors advise patients to spend recovery periods in places related to nature to help speed recovery. Likewise, seeing historical and heritage sites has a positive effect resulting from stirring up different emotions, either with pride and glory, comfort and harmony, or fascination and admiration. Therefore, the impact of beauty on human health is accurate, and there is no doubt concerning psychological health and extends to include physical health. The matter differs from the contemporary designs due to their diversity and comprehensiveness. They combine more than one style and trend due to the openness of the world and the convergence of cultures.

Human health is affected by beautiful interior space. When providing comfort, good planning, and organizing the interior elements in line with the human physically and psychologically. In addition to excluding harmful materials and improving the indoor air quality. Also, it extends to an indirect effect related to aesthetic features and harmony with human needs, physically, mentally, and spiritually. And psychological theorists dating back decades have emphasized the importance of homes and interiors for emotional stability. **Invalid source specified.**

Lighting and health: Lighting has a vital role in improving the quality of life inside the buildings, whether it is natural or artificial lighting, because of its role in providing a suitable environment for the practice of activities and the awareness of the contents of the space, as called the cognitive map, **Invalid source specified.** in addition to its role in imparting various psychological effects that help in moving human feelings negatively or positively according to their compatibility with the interior designs. Good lighting emphasizes the interior design's beauty, while bad lighting may harm the interior spaces' aesthetics and negatively affect the occupants and their health. It has been proven that natural lighting helps to raise morale and increase positive energy. **Invalid source specified.** In contrast, artificial lighting depletes the individual's energy and hurts the psyche of the space user.

It has been proven that the use of curved lines in interior design has a positive effect on the physiological aspect of the human being better than the use of straight lines as they work to activate the lingual and the calcarine gyrus in the visual cortex. **Invalid source specified.**

Some studies detected that the use of curved lines, preferred by most people in the interior design of buildings, and the sense of their beauty is associated with increased activation of the anterior cingulate cortex (ACC). (Alex Coburn, 2017) In another study, it was revealed that people would become more stressed if they were isolated in a room without windows. **Invalid source specified.**

4 QUESTIONNAIRE STUDY

There are different opinions of philosophers and thinkers in determining the essence of beauty. The difficulty of the comprehensiveness of some interior elements' characteristics supports this feeling. The integration of different elements within the space impacts individuals in several aspects, physically and psychologically. And with the diverse aspirations of human needs in a variety to contribute to the safety with access to the highest degrees of benefit from the interior spaces and to perform activities at internal areas with high efficiency and without effort to achieve prosperity.

This questionnaire aims to discover the main features of beauty and the preferences within interior spaces by analyzing the sample responses. The following conclusion was reached by analyzing the questionnaire sample: The number of respondents of the questionnaire sample responses is 260 persons, 59 are males, and the rest (216) are females. They were divided into age groups 115 under age 23, 147 from age 23 to 45, 14 above 45. The capital and the big cities residents are about 100 persons, popular neighborhoods and small towns residents 160 people, Holders of university qualification 200, advanced studies 50, Intermediate qualification 10, and number of art learners 150 people while non-art learners are 110 persons. At the same time, the number of persons working or studying in the interior design field is 110 persons between 150 persons who work in other fields. There was diversity in the sample's interests. In the first place came Art field, then came the science field, religion, sports, literary, and the least was the political interests.

4.1 FEELINGS MOTIVATION TOWARDS THE INTERIOR DESIGN SPACES

The inquiry about the elements that control the sense of beauty in the interior spaces, the majority of opinions confirm that the most important reasons for beauty are psychological comfort towards the internal designs followed by physiological comfort. And by asking about the elements that contribute the most to the rule of internal space being ugly, the majority of the sample said that the absence of psychological comfort affects the judgment of ugliness. And that color has a strong influence on the decision. In comparison, the remaining components did not exceed 50%.

4.2 CULTURE FEATURES AND INTERIOR BEAUTY

People who prefer interior spaces that include elements expressing their religious affiliation exceeded 60%; most of them do not study art. The portion of preference is also associated with age groups that learn Art, where it became clear that with the increase in age, the rate of appreciation decreases in the inclusion of elements that show religious identity, the percentage of females reaches about 65% while in males was about 55%.

When asking about the elements that contribute the most to the rule of internal space being beautiful, about 75% of the sample said that all interior features affect the judgment of beauty. Then about 12% explained that colors have a strong influence on the determination of beauty, while the remaining components did not exceed 50%.

4.3 INTERIOR CHARACTERISTICS

Suppose the judgment of the interior design depends only on the description. In that case, it may be unfair to determine the personal orientations and opinions towards what is seen as beautiful or ugly in the interior design elements and its complementation. Therefore, for determining individuals' attraction towards interior design with different directions, need to be in specific groups that include:

✓ Combining contemporary and originality in a way that matches the spirit of the times:

By analyzing the sample results responses, it became clear that the majority is attracted to the group of pictures that combines classical and modern with simple and light colors. Most people are attracted to the contemporary trend in designing

interior space. This trend combines current, with its simplicity and new materials, and between originality in some simple ornaments and patterns fused into simple elements in harmony. These combinations relax the eye and the body in preserving the vast spaces and original details.

✓ **Excitement and attention to everything that is out of the ordinary.**

They were then followed by unfamiliar designs, the optical illusion, motion, and confusing designs. The search for everything new is a feature that overcomes all human beings, so some prefer to use some exotic ideas in designing internal spaces as a kind of excitement for the viewer, a sense of individuality and excellence in acquiring unique things.

✓ **The customary and canonical designs**

It was followed by, which used the classic styles with wood in the interior design elements. While some people search for unfamiliar designs, others resort to classical and familiar techniques to avoid risk and ensure that others like them. in addition to combining simplicity with originality.

✓ **Simplicity, and lack of details and complexity**

Most of them prefer straight-lined with trim curved lines and light and compatible colors by analyzing the sample responses. Contemporary life and daily pressures impose a tendency to simplicity in design lines, with a direction to trim curved lines, to give a comfortable mixture and harmoniously in colors and forms to the tranquility of the occupants of the internal spaces.

✓ **Connection with nature**

The analysis of the responses explains the attractiveness with the external nature directly and the bright colors represented in the natural shades of the green areas surrounding the building.

5 DISCUSSION

Designers' opinions in previous eras were divided in the design of internal spaces. their opinions were the importance of the predominance of the aesthetic dimension or the functional dimension. As some began to focus their attention on the design that serves the aesthetic side that impacts the recipient by the appealing elements and the innovative features that prevail in it, then the functional aspect follows it. Others are concerned with the functional aspect, as it is the beneficial aspect of the human being in achieving the required functions, which has the priority to pay attention to, followed by the aesthetic aspects.

The interior design has an impact on the physical, psychological and social health of buildings' occupants. This effect is not limited to the ability of the building to protect from environmental influences. Instead, it extends to include the possibility of dealing with the requirements and needs of man in a way that guarantees a healthy and safe life for the human being.

The disease-causing elements within buildings vary between interior design elements in their shapes, sizes, and materials made from them, or the systems used in preparing internal spaces such as sound, fire, ventilation, and air-conditioning systems...etc., or in the coordination between interior spaces and their relations with each other and their relationship to the external environment and the movement of air through them and the amount of natural light penetrating the internal spaces and the suitability of all this for the building occupants.

For example, constant exposure to noise increases blood pressure, and insufficient daylight affects a person's biological clock and reduces sleep quality. In addition to the internal disorganization and chaos would harm a person's psychological state. And the emissions of harmful materials which are used to implement the interior designs. On the contrary, using some colors, materials, and shapes in the internal space improves human health, such as using green to enhance mood and speed of recovery.

Accordingly, the shape (form) has the same importance as the functional importance at the internal space. The beauty of the interior spaces gives the human psyche comfort, reassurance and attention to its details. This beauty is a personal experience that differs from one person to another.

6 CONCLUSION

The decision of the recipient to judge the beauty of the internal spaces requires the meeting of several factors. The shape factor has come at the forefront of all elements with its lines, sizes, proportions, colors, inscriptions, etc. And to be corresponded to the personal attitudes of each individual, then followed by contemporary and compatibility with technology. And not to ignore the interdependence of nature in blending the outer spaces with their green spaces to internal areas, which achieves the person's psychological comfort by achieving his aspirations in the optimal use of modern technology and the availability of well-being and comfortable living in the interior spaces.

The beauty of the inner space is also related to meeting new and unusual ideas for a human. Combining simple design lines as the latest and non-stereotypical expresses the constant human passion for change, exchange, and instability.

Especially in judging for the first time, it is like artwork. The concept of beauty has changed in interior spaces in periods and successive decades around the globe. However, modern man, especially the youth, has gathered their views on simplicity in lines and sizes, compatibility in colors and ratios, and the interdependence of nature. In addition, it is keeping up with technology and combining originality with contemporaneity in a simplicity that reduces the daily problems and pressures faced by modern man.

This interior design is not a space that may be characterized by beauty or ugliness. It evokes the human senses either positively or negatively, momentarily or transiently, not like other artwork. It is instead a space that embraces the person inside, that person who is driven by his feelings, memories, opinions, thoughts, words, etc. All these things may change with time. Therefore, if the interior design corresponds with its contents and elements with what the person hides inside himself of emotions and feelings, the design is judged as beautiful. On the contrary, if the interior design contradicts the person's essence, the person would consider it ugly, hate it, and refuse to live inside it.

REFERENCES

- [1] Alex Coburn, O. V. (2017). Buildings, Beauty, and the Brain: A Neuroscience of Architectural Experience. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1521–1531.
- [2] Hussein Haggag, Amany Hendy, Dalia Bakr. (11/2013). The Psychological Feeling towards the Art Work. MOD ART 13 MODERN ART CONFERENCE on Beauty and Ugliness. Istanbul, Turkey: Mimar Sinan Fine Arts University.
- [3] Jow, T. (2020, May 4). 8 Ways COVID-19 Will Impact the Future of Interior Design. Retrieved from AD PRO: <https://www.architecturaldigest.com/story/8-ways-covid-19-will-impact-the-future-of-interior-design>.
- [4] Juslin, P., & Västfjäll, D. (November 2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, 31 (5), 559 –621.
- [5] Kenza, B. (September 2013). Appraisal of Beauty in Architecture.
- [6] Lindsay T. Graham, S. D. (18/5/2015). The Psychology of Home Environments: A Call for Research on Residential Space. *Perspectives on Psychological Science*.
- [7] Mahmoud, N. S. (2017). Places that Reflect Beauty. In *Perception of Beauty* (pp. 63-82). London: Intechopen.
- [8] Mahmoud, N. S. (2017). Places that Reflect Beauty.
- [9] Marjut Nousiainen, H. L. (2016). RESTORATIVE ENVIRONMENT DESIGN. Kymenlaakso University of Applied Sciences.
- [10] Teknion. (2017). the true measure of a space is how it makes us feel. China: Teknion corporation.
- [11] Tomassoni, R., Galetta, G., & Treglia, E. (August 2015). Psychology of Light: How Light Influences the Health and Psyche. *Psychology*, 1217: 1222.
- [12] Tracie Weeks, M. (n.d.). AESTHETICS AND INTERIOR DESIGN: EFFECTS ON OVERALL MENTAL HEALTH.

Effect of soil amendment with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* bioformulation on biochemical parameters and antioxidant activity in *Abelmoschus esculentus*

Zoa Parfait Alexis¹, Fotso³, Tene Tayo Martial², and Djocgoue Pierre-François¹

¹Department of Plant Biology, University of Yaounde I, Faculty of Science, P.O. Box 817, Yaounde, Cameroon

²Laboratory of Phytoprotection and Plant Valorization, Biotechnology Center, University of Yaounde I, Messa, P.O. Box 3851, Yaounde, Cameroon

³Department of Plant Biology, University of Bamenda, High Teacher's Training College Bambili, P.O. Box 39, Bamenda, Cameroon

Copyright © 2021 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: Okra is a very popular vegetable fruit due to its nutritional and therapeutic potential, but its valorization is still marginalized in agricultural research centers. However, it possesses secondary metabolites not yet identified in the scientific literature and involved in the antioxidant defense system. This work aimed at assessing the effect of soil amendment on biochemical parameters of *Abelmoschus esculentus* leaf and fruit extracts, involved in the defense against ROS. It appears that the bioformulation used, highly influence some growth parameters and physicochemical parameters of soil. The screening of the different secondary metabolites was done by GC/MS performed with an Agilent 7890A GC coupled to an Agilent MSD 5975C inert mass spectrometer. The free radical scavenging activity was assessed by DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl); ABTS (2,2'-azino-bis- (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) reduction tests. The reducing power towards ferric ion (FRAP) was also assessed. It was determined that the leaf extract from the plot treated with the *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* generated more secondary metabolites than the control extract. This treated extract also showed high IPs at peak concentrations on the three assays DPPH, ABTS and FRAP which are respectively 90.37±1.21%; 91.47±1.01; 85.40 ± 0.14% against 62.55±7.28%; 67.83±4.56; 36.43 ± 0.12% for the control with a highly significant difference (p-value<0.001). The okra fruit extract where GPx, CAT and SOD were assessed, showed a highly significant difference (p-value<0.0001) among these enzymes and according to treatments. Further analysis of our study shows that these beneficial microorganisms positively influenced the agromorphological parameters and play an important role in the improvement of the biochemical parameters involved in the antioxidant activity of *Abelmoschus esculentus*.

KEYWORDS: *Abelmoschus esculentus*; *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens*; antioxidant scavenging activity; secondary metabolites.

1 INTRODUCTION

Okra is a tropical flowering plant in the family of malvaceae and native of Africa. It has many nutritional, medicinal, artisanal, and even industrial benefits for humans. It is appreciated for its edible green colored pods [1]. In Sudan and Ghana, it represents in terms of consumption the fourth most important fruit after tomatoes, chili and eggplants; and the second in Cameroon after tomatoes [2]. It is a crop with an enormous economic potential for the poor communities because of its market potential in rural and urban areas [3]. Under optimal growing conditions, okra productivity can be expected to attain 30-40t/ha [4]. However, there is a large gap between potential and effective yield [5]. This low yield can be explained by the marginalization of okra in development and research programs [6]. It is also partly caused by inadequate soil nutrients. Thus, there is a need to minimize the difference between potential and expected yields.

It should be noted that soils are full of millions of beneficial microorganisms of indigenous origin such as growth-promoting rhizobacteria and fungi, thus playing the role of biostimulants which in the agronomic service, will take part in phytostimulation, plant defense, soil activation and play the role of agronomic additives [7]. They will degrade soil organic matter for better nutrient uptake by plants to ensure optimal growth and production. These microorganisms of indigenous origin produce both energy wealth substances such as organic acids and alcohols, sugars, amino acids and vitamins that can be easily reused by other organisms. They also produce bioactive substances and antioxidants such as vitamin E and flavonoids from organic substances [8].

Vegetables and fruits are important sources of nutrients with nutritional and therapeutic values. Many researches showed these plants to be excellent sources of natural antioxidants for disease prevention and health care [9]. This potential is linked to their high content in secondary metabolites, including phenolic compounds. Indeed, they must on a daily basis, respond to the nutritional needs of the human body and participate in its protection against external aggressions, including diseases and premature aging [10]. The free radicals generated by the body would be the cause of several pathologies among which we can mention arthrosis, cancer, diabetes, heart disease, atherosclerosis [11]. These radicals result from oxidative stress that creates a state of imbalance between their production and antioxidant defense. This results in the variation of the oxidative stress of enzymes activity indirectly supporting the antioxidant defense system by catalyzing the dismutation of hydrogen peroxide. This potential is linked to the large amount of secondary metabolites that they have and that cannot be synthesized by humans. The ingestion of antioxidants such as phenolic compounds, through these fruits and vegetables, could allow our body to strengthen its defenses against the oxidation processes that threaten our cells daily [12]. Okra is a vegetable that provides an interesting contribution in antioxidants; but despite this, very limited data have been reported in the literature regarding its chemical composition, its content of secondary metabolites and on the biological activities of its extracts. It remains poorly known to the scientific community and marginalized in development and research programs [6]. This is why our study aimed at assessing the physicochemical parameters of soils and their influence on plant growth and biochemical parameters through the screening of secondary metabolites in leaf extracts and the antioxidant activity and oxidative stress enzymes in fruit extracts of *Abelmoschus esculentus* cultivated with some benefit microorganisms.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 LOCATION

The study was conducted between August 2020 and February 2021 at Mbele II, a locality in the OBALA Subdivision, LEKIE Division, in the Centre Region of Cameroon.

The area is located at the altitude of 528 meters with 4°10'0" N and 11°31'60" E geographical coordinates. Its climate is tropical humid with an annual rainfall of about 1638 mm. The temperature is approximately 24.7°C [13].

2.2 ANALYSIS OF SOIL SAMPLE OF THE STUDY AREA

Soil samples were taken with a hand auger on the first 20 cm of soil on the control plot before bioformulation application and at week five on the treated plot. The variables to be analyzed were pHwater content, organic matter (OM), cation exchange capacity (CEC), total nitrogen (Ntot), assimilable phosphorus (Pass), potassium (K), total carbon (C) according to the international methods recommended by [14] in Laboratory of Soil Analyses and Chemical Environment.

2.3 PREPARATION AND APPLICATION OF THE BIOFORMULATION

The bioformulation was prepared according to the modified method described by [15] using the microbial strains *Trichoderma Harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* acquired at the Dora AGRI-TECH laboratory associated with rice bran after their activation in molasses. A concentration of 20 g per hole was applied when seeding and three weeks later on the treatment except on the control. Harvesting was done 45 days after sowing.

2.4 AGROMORPHOLOGICAL PARAMETERS

Agronomic parameters included plant emergence (%), plant vigor (%), average capsule weight (g) per treatment, leaf area (cm²), fruit length (cm) and yield per treatment. This capsule production was estimated following a progressive harvest every seven days.

2.5 VEGETAL MATERIAL

Young okra fruits and leaves were material used. The study focused on the Clemson Spineless variety grown in an experimental field in the bimodal rainfall agroecological zone of Cameroon in September 2020, on the T0 control and the T1 treatment based on bioformulation with *T. Harzianum* and *B. Amyloliquefaciens*. Harvesting was done 45 days after sowing in November 2020. The collected plant parts were previously washed and dried at the National Laboratory of Diagnostic Analysis of Agricultural Products and Intrants of the Ministry of Agriculture and Rural Development.

2.6 EXTRACTION

The extraction was carried out on leaves previously delipidated with soxhlet (with methanol as solvent) according to the method of [16] by decoction under reflux of 50 g of powder in 500 ml of a hydro-methanolic mixture (20V/80V respectively) for 30 min with the aim

of extracting large quantities of polar compounds such as polyphenols. After filtration on Whatman paper, the filter residues were evaporated with a rotary evaporator at 60°C. The residues of this extrudate were dried in an oven for 48 h at 45 °C to obtain the dry extracts.

2.7 PHYTOCHEMICAL SCREENING

The methanolic extract for the screening of the different secondary metabolites analyzed by GC/MS was performed with an Agilent 7890A GC coupled to an Agilent MSD 5975C inert mass spectrometer. The gas chromatography is equipped with a VF-1MS capillary column (100% dimethylsiloxane, 20 m x 150 µm (inner diameter) x 0.15 µm (film thickness)) from Varian, 4 mm inner diameter liner. Carrier gas: helium (constant flow rate of 1 mL/min); oven programming: from 37 °C (1 min) to 250 °C at 5 °C/min, then 11 min step at 250 °C; source temperature: 230 °C; transfer line temperature: 260 °C; ionization energy: 70 eV. Electron ionization (EI) mass spectra were recorded between 40-400 u.

Constituent identification was based on comparison of the mass spectra with commercial, NIST 2012, Wiley, and in laboratory internal databases [17].

2.8 EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY

2.8.1 DPPH TEST

The DPPH antiradical activity of the polysaccharide fraction was assessed according to the protocol of [18]. It is based on the reduction of the purple DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical to a yellow compound by hydrogen atom transfer to form the stable DPPH-H (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine). The intensity of the coloration, measured with a spectrophotometer at 517 nm, is inversely proportional to the antiradical activity of the compounds contained in the extract to be analyzed. In different test tubes were introduced 500 µL of extract at concentrations 50, 100, 150 and 200 µg/mL; 500 µL of a freshly prepared 400 µM DPPH methanolic solution.

Gallic acid at concentrations of 0.1; 1; 10; 100 and 1000 µg/mL was used as the standard. The control solution consisted of 500 µL of distilled water and 500 µL of DPPH solution. After 30 min of incubation at RT and in the dark against a blank consisting of 500 µL of methanol and 500 µL of distilled water, the optical density reading was taken at 517 nm on a Shimadzu UV-1605 spectrophotometer.

The free radical scavenging activity was expressed as percentage of DPPH- radical reduced and calculated as follows:

$$\text{Antiradical activity (\%)} = [1 - (\text{DO sample 517}/\text{DO control 517})] \times 100$$

2.8.2 ABTS TEST

It was done according to the protocol described by [19]. In the presence of antioxidant proton donator, the green ABTS. + radical pulls out a proton leading to ABTS+. This leads to a decoloration of the solution with a maximum absorption at 734 nm. In different tubes, 500 µL of polysaccharide fraction at concentrations 50; 100; 150 and 200 µg/mL; 500 µL of freshly prepared ABTS reagent were introduced.

The OD was determined at 734 nm on a Shimadzu UV-1605 spectrophotometer after 30 min of incubation at RT and in the dark against distilled water (White). Gallic acid used as standards, was treated the same way at concentrations of 0.1; 1; 10 and 100 µg/mL. The polysaccharide fraction was replaced by distilled water in the control solution.

$$\text{Antiradical activity (\%)} = [1 - (\text{DO sample 734}/\text{DO control 734})] \times 100$$

The free radical scavenging activity was expressed as the percentage of reduced ABTS- radical

2.8.3 FRAP TEST

The Ferric Reducing Antioxidant Power assay was performed according to the modified protocol of [20]. First, a 300 mM acetic acid/sodium acetate buffer solution at pH = 3.6 was prepared. The 10mM TPTZ reagent, diluted in 40mM HCl, is prepared extemporaneously. The second reagent FeCl₃ at 20 mM is also prepared extemporaneously. Finally, the FRAP work solution is made by mixing 2.5 ml of TPTZ solution, 2.5 ml of FeCl₃ solution and 25 ml of buffer solution. This solution must be kept in a bath at 37°C.

The test consists in mixing 100 µl of diluted extract (or methanol) in glass hemolysis tubes with 300 µl of distilled water and 3000 µl of FRAP working solution maintained at 37°C. The absorbance is measured at 595 nm after incubating the reaction in a thermostatic bath at 37°C in the dark for exactly 30 minutes.

The standard curve is established from the absorbances read for the range of ferrous sulfate heptahydrate solutions used as reference compound. It is of the form: **Abs = a × [Fe (II)] + b**. Each extract is tested, and the absorbance that results allows to determine its concentration in µM of Fe (II) equivalent.

Then considering the concentration of the extract under study, the AO is then expressed either directly in µM of Fe (II) equivalent or in µmol of Fe (II) equivalent/g of dry extract and dry matter. Gradient gallic acid was used as a standard. Optical density was determined at 593 nm on a Shimadzu UV-1605 spectrophotometer after 30 min of incubation at room temperature and in the dark against distilled water. Iron reducing activity was expressed as µg gallic acid equivalent (GAE) /mg dry extract.

2.9 DETERMINATION OF THE ENZYME MARKERS ACTIVITY OF THE OXIDATIVE STRESS

2.9.1 SUPEROXIDE DISMUTASE

Its activity was determined according to the method described by [21]. The principle is based on the capacity of inhibition of the autooxidation of pyrogallol by SOD at 420nm.

The measurement of the activity is performed in a final volume of 3ml. To 2.8ml of Tris HCl buffer (0.1mol, pH 8.2) are added 0.1ml of enzyme extract, 25µl of catalase (30µM in 0.1M phosphate buffer, pH 9) and 25µl of pyrogallol (24mM prepared in 10mM HCl). After incubation for 30s, the change in absorbance is measured at 420nm every minute, in the interval time of 3minutes.

The SOD activity is expressed as Unit/mg of protein. One unit of SOD activity is defined as the enzyme that would cause 50% inhibition of pyrogallol autooxidation.

2.9.2 CATALASE

Its activity is measured according to the method described by [22]. The breakdown of hydrogen peroxide is determined by the diminution of the absorbance at 240nm. In the presence of catalase, the breakdown of hydrogen peroxide leads to a decrease in the absorbance of the H₂O₂ solution as a function of time. The reaction medium contains 2.9ml of 0.1M phosphate buffer, pH 7 and 0.1ml of 20mM H₂O₂, and the enzyme extract. After incubation for 5 min, Titanium oxide sulfate (TiOSO₄) reagent is added. The assay is performed at 240 nm every minute for a maximum of two to three minutes. The concentrations of the remaining H₂O₂ are determined from a standard range of H₂O₂ at concentrations of 0.5 to 2 mmol/l.

The calculation of a unit of enzyme activity is:

$$A = \log A1 - \log A2$$

A1 is the starting H₂O₂ concentration

A2 is the concentration of H₂O₂ after incubation (after 5 min)

The specific activity is expressed in U/min/ml of protein.

2.9.3 GLUTATHIONE PEROXIDASE

The GPx assay was based on the method used by [23]. The activity of this enzyme is determined via the formation of oxidized glutathione (GSSG) from reduced glutathione (GSH). The system requires the presence of an oxidant (cumene-H₂O₂) and glutathione reductase (GR) which reduces GSSG by oxidizing NADPH to NADP. The measurement consists therefore in following by spectrophotometry the disappearance of NADPH at 340 nm at 25°C in a mixture formed by the addition of: sodium-phosphate buffer (100 mM, pH 7.5) containing EDTA (1 mM), GSH (2mM), NADPH (0.12 mM), GR (1Unit/ml), DL-dithiothreitol (1 mM) to stabilize enzymes containing sulphhydryl groups, cumene hydroperoxide (0.8 mM) and a volume of the sample or blank buffer that completes the total volume (1 ml). A GPx assay setup was performed first to determine the appropriate dilution of the samples. This setup consisted in detecting a significantly different absorbance decay than the blanks by testing different dilutions. In the case of this assay, the molar extinction coefficient is 6.22 mM⁻¹. cm⁻¹. The GPx activity was thus calculated by applying the Beer-Lambert law:

$$((\Delta A \text{ sample} - \Delta \text{blank}) / \epsilon l)$$

Then it is multiplied by the dilution factor and finally normalized to the concentration of total protein in the corresponding S100 fraction and consequently expressed in μ moles of NADPH consumed per minute and per mg of total protein (mmoles/L Prot).

2.10 DATA ANALYSIS

The data were previously encoded on EXCELL and then analyzed using the Rcmd package of the Rversion 3.6.3 software where the normality and homogeneity of the different data were tested using the Shapiro-Wilk and Bartlett's K-squared tests respectively. The Tukey test was used to compare the different means through one-factor analyses of variance in order to determine the significant differences between them.

3 RESULTS

3.1 ANALYSIS OF THE SOIL SAMPLE

Table 1 presents the results of the different parameters assessed. It appears from these analyses that the difference is significant between these parameters and with treatments T0 and T1 ($p < 0.05$), reporting thus the treated soil rich in organic matter (3.21%) with an almost neutral pH water (6.70).

Table 1. Effect of bioformulation on soil physicochemical parameters before and after treatment

treatments	PHwater	OM (%)	Carbon (%)	N (%)	K (méq/100g)	Na (méq/100g)	CEC (méq/100g)
T0	5,50 $\pm$ 0,00a	0,97 $\pm$ 0,02a	0,54 $\pm$ 0,02a	0,07 $\pm$ 0,01a	1,11 $\pm$ 0,01a	0,02 $\pm$ 0,01a	24,33 $\pm$ 2,08b
T1	6,70 $\pm$ 0,00b	3,21 $\pm$ 0,03b	1,50 $\pm$ 0,10b	0,14 $\pm$ 0,01b	1,90 $\pm$ 0,09b	0,02 $\pm$ 0,00a	18,40 $\pm$ 0,10a

*Means with the same letters on the same column are not significantly different according to Tukey's test $P < 0.05$

OM=organic matter; N=nitrogen; K=potassium; Na=sodium; CEC=cation exchange capacity

3.2 AGROMORPHOLOGICAL PARAMETERS

Table 2 shows the different agronomic parameters of the plants assessed on the control and the treatment. The analysis of variance shows that there was a significant difference between these agronomic parameters according to the treatments ($p < 0.05$) except for the number of leaves and plant emergence. Treatment T1 showed the best parameters compared to T0 in leaf area (878.33 vs. 620 cm²); plant height (32.56 vs. 22.46cm); plant vigor (86.48 vs. 71.77%); fruit length (11.53 vs. 7.30cm) and average weight of capsules per treatment (1868 vs. 960.66g).

Table 2. Effect of bioformulation on agromorphological parameters of okra after five weeks

Treatments	Plants emergence (%)	Plant height (cm)	Number of leaves	Leaf area (cm ²)	Plant vigor (%)	Fruits length (cm)	Poids moyen des fruits par traitement (g)
T0	15,33 $\pm$ 1,52a	22,46 $\pm$ 1,13a	8,33 $\pm$ 0,57a	620,00 $\pm$ 68,63a	71,77 $\pm$ 1,4a	7,30 $\pm$ 0,36a	960,66 $\pm$ 167,28a
T1	17,33 $\pm$ 0,57a	32,56 $\pm$ 1,45b	9,33 $\pm$ 0,57a	878,33 $\pm$ 48,22b	86,48 $\pm$ 3,59b	11,53 $\pm$ 0,49b	1868,00 $\pm$ 279,45b

*Means with the same letters on the same column are not significantly different according to Tukey's test $P < 0.05$

3.3 PHYTOCHEMICAL SCREENING

Phytochemical screening of T0 and T1 methanolic extracts through GS/MS, revealed several peaks (Figure 1&2). The retention times ranged from 3.788min to 7.141min for T0 and 3.587min to 11.312min for T1, respectively. This revealed the overexpression of secondary metabolites in okra leaves in the treated plot than in the control plot (Table3&4).

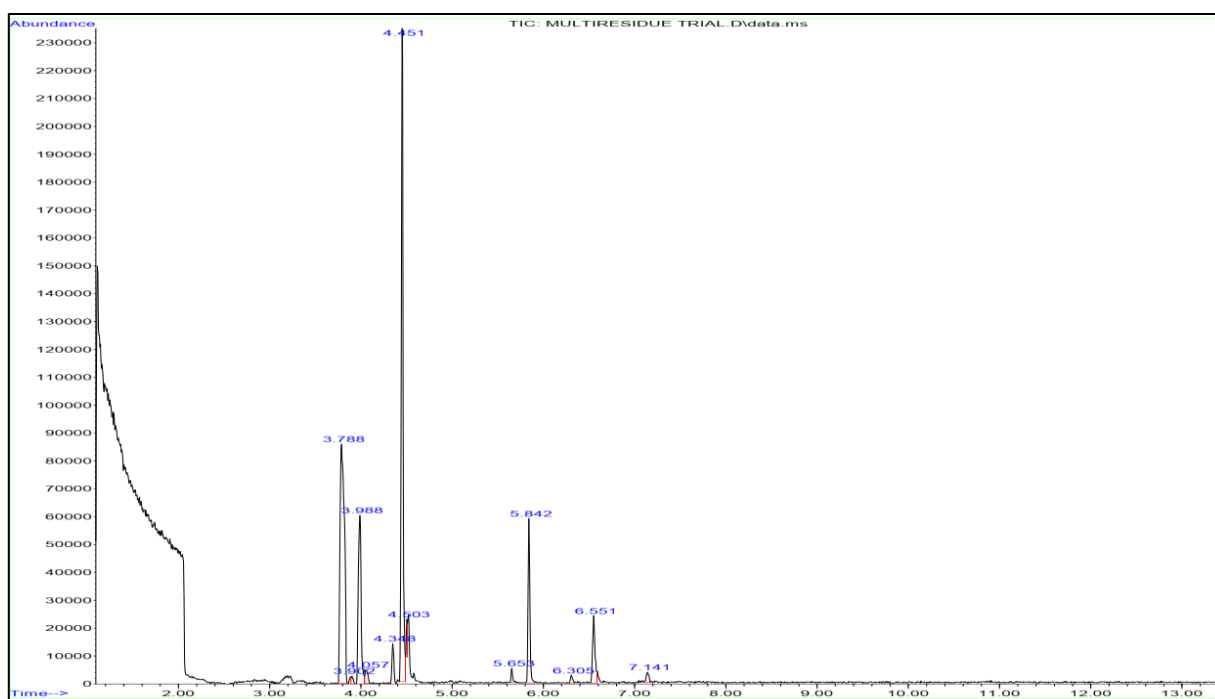


Fig. 1. GC-MS chromatographic profile of methanolic extract of the control

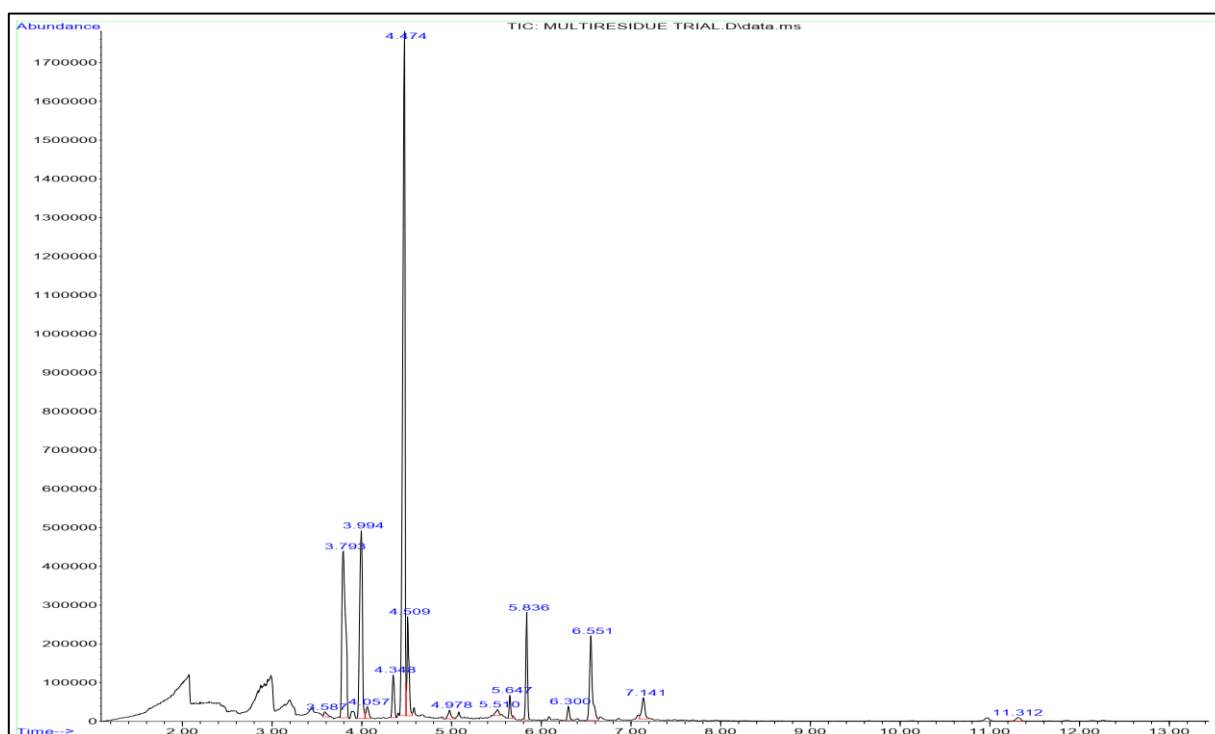


Fig. 2. GC-MS chromatographic profile of the methanolic extract from the treated plot

Several compounds of different molecular weight were obtained at each peak (Table 3&4). Acidic compounds such as decanoic, hexadecanoic and tetradecanoic acids were revealed. The sugar 2-O-Methyl-D-mannopyranose was also obtained as well as unidentified compounds (Table 4). Most of the compounds are acids.

Table 3. Secondary metabolites expressed in the treatment

Hypothetic name	RT	Formula	Molecular weight (g/mol)	Abundance (%)
3H-1,3,4-Benzotriazepin-2-one,1,2-dihydro-3,5-dimethyl-1-Phthalazinecarboxamide,3,4-dihydro-4- oxo-2,4-Dimethyl-3-phenyl-isoxazol-5 (2H) -one unknown unknown	3,58	$C_{10}H_{11}N_3O$	189,2	100
		$C_{12}H_{13}N_3O_2$	279,29	27,06
		$C_{11}H_{11}NO_2$	189,2	23
			89	18
			102	17,95
1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis (2-methylpropyl) ester Phthalic acid butyl hept-2-yl ester Phthalic acid, hexyl propyl ester unknown unknown	3,79	$C_{16}H_{24}O_4$	278,3	100
		$C_{19}H_{28}O_4$	320,4	13,57
		$C_{17}H_{24}O_4$	292,4	12,76
			57,10	11,82
			150	9,70
n-Hexadecanoic acid Tetradecanoic acid unknown unknown	3,99	$C_{16}H_{32}O_2$	256,4	100
		$C_{14}H_{28}O_2$	228,37	95,76
			57,10	59,64
			6910	46,77
Hexadecanoic acid, ethyl ester Ethyl 13-methyl-tetradecanoate unknown unknown	4,05	$C_{18}H_{36}O_2$	284,47	100
		$C_{17}H_{34}O_2$	270,5	62,62
			73	46,32
			57	45,16
9,17-Octadecadienal, (Z) - 9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z) -, methyl ester 11-Octadecynoic acid, methyl ester unknown unknown	4,34	$C_{18}H_{32}O$	264,44	100
		$C_{19}H_{32}O_2$	294,5	64,85
		$C_{19}H_{34}O_2$	294,5	50,54
			82	49,25
			60,10	34,93
cis-13-Octadecenoic acid Oleic Acid trans-13-Octadecenoic acid unknown unknown	4,47	$C_{18}H_{34}O_2$	282,46	100
		$C_{18}H_{34}O_2$	282,46	63,33
		$C_{18}H_{24}O_2$	282,46	60,05
			82,10	49,66
			84,10	41,93
Octadecanoic acid unknown unknown	4,50	$C_{18}H_{36}O_2$	284,47	100
			58,10	51,70
			70	50,62
4-Piperidinemethanol, .alpha.,.alpha.-diphenyl-1-methyl-1H-imidazole-2-methanol 1H-Inden-1-one, octahydro-7a-hydroxy- unknown unknown	4,97	$C_{19}H_{23}NO$	281,4	100
		$C_4H_6N_2O$	98,1g/mol	72,44
		$C_9H_{14}O_2$	154,21	70,94
			68,10	45,96
			80,10	29,35
7-Hydroxy-3- (1,1-dimethylprop-2-enyl) coumarin Octanoic acid, 7-oxo-, ethyl ester trans-2-Methyl-.beta.-methyl-.beta.-nitrostyrene unknown unknown	5,51	$C_{14}H_{14}O_3$	230,26	100
		$C_{10}H_{18}O_3$	186,25	66,14
		$C_{10}H_{11}NO_2$	177,2	62,82
			80	58,87
			78	48,71
Glycerol 1-palmitate Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1 (hydroxymethyl) ethyl ester Palmitoyl chloride unknown unknown	5,64	$C_{19}H_{38}O_4$	330,50	100
		$C_{19}H_{38}O_4$	330,50	85,73
		$C_{16}H_{31}ClO$	274,9	78,49
			75	54,94
			70,10	53,82
Bis (2-ethylhexyl) phthalate Phthalic acid, 2-ethylhexyl isohexyl ester	5,84	$C_{24}H_{38}O_4$	390,54	100
		$C_{22}H_{34}O_4$	362,5	31,32

Phthalic acid, di (oct-3-yl) ester		$C_{24}H_{38}O_4$	390,6	25,64
unknown			56,10	14,26
unknown			71,10	13,82
Butanedioic acid 2,3-dimethyl-, dibutyl ester		$C_{14}H_{26}O_4$	258,35	100
Succinic acid, ethyl 3- (2-methoxyethyl) nonyl ester			130	71,02
5-Chloro-2-pyridinol	6,3	C_5H_4ClNO	129,54	69,97
unknown			102	50,82
unknown			82	48,78
9,17-Octadecadienal, (Z) -		$C_{18}H_{32}O$	264,44	100
9,12-Octadecadienal		$C_{18}H_{32}O$	264,44	74,03
9-Octadecenal, (Z) -	6,55	$C_{18}H_{34}O$	266,46	60,18
unknown			70,10	48,25
unknown			96,10	43,03
E, Z-1,3,12-Nonadecatriene		$C_{19}H_{34}$	262,5	100
1,3,12-Nonadecatriene		$C_{19}H_{34}$	262,5	87,52
9,12-Octadecadienoyl chloride, (Z, Z) -	7,14	$C_{18}H_{31}ClO$	298,9	78,14
unknown			82	59,30
unknown			80,10	48,43
1- (2 Adamantylidene) semicarbazide		CH_5NO_3	92,1	100
1,3-Bis- (2-cyclopropyl,2-methylcyclopropyl) -but-2-en-1-one		$C_{16}H_{26}O$	258,4	73,20
2,8-Decadiyne	11,31	$C_{10}H_{14}$	134, 21	70,72
unknown			208	67,64
unknown			77,90	61,28

Table 4. Secondary metabolites expressed in the treatment

Hypothetic name	RT (min)	Formula	Molecular weight (g/mol)	Abundance (%)
Phthalic acid, 8-chlorooctyl isobutyl ester		$C_{20}H_{29}ClO_4$	368,9	100
2- ((prop-2-ynoxy) carbonyl) benzoic acid		$C_{11}H_8O_4$	204,17	15,40
Phthalic acid, butyl isohexyl ester	3,78	$C_{18}H_{26}O_4$	306,39	14; 42
unknown			58,10	10,97
unknown			151	8,7
Nonanoic acid, methyl ester		$C_{10}H_{20}O_2$	172,26	100
2-O-Methyl-D-mannopyranosa		$C_7H_{14}O_6$	194,18	76,22
Octanoic acid, methyl ester	3,90	$C_9H_{18}O_2$	158,24	54,35
unknown			149,90	38,18
unknown			75,90	28,13
n-Hexadecanoic acid		$C_{16}H_{32}O_2$	256,42	100
Tridecanoic acid		$C_{13}H_{26}O_2$	214,34	90,91
unknown	3,98		58,10	57,66
unknown			70,10	43,38
Pentanoic acid, 4-methyl-, ethyl ester		$C_8H_{16}O_2$	144,21	100
Hexanoic acid, ethyl ester		$C_8H_{16}O_2$	144,21	77,13
unknown	4,05		73,90	64,75
unknown			58,10	54,63
11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester		$C_{21}H_{38}O_2$	322,5	100
9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E, E) -		$C_{19}H_{34}O_2$	294,5	60,30
8-Hexadecyne	4,34	$C_{16}H_{30}$	22,41	49,72
unknown			70	43,61
unknown			75	37,11
9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z) -		$C_{19}H_{34}O_2$	294,5	100
9,17-Octadecadienal, (Z) -	4,45	$C_{18}H_{32}O$	280,44	75,62

unknown			70,10	48,38
unknown			80,10	35,29
Octadecanoic acid	4,50	$C_{18}H_{36}O_2$	284,47	100
Pentadecanoic acid		$C_{15}H_{30}O_2$	242,4	53,98
n-Hexadecanoic acid		$C_{16}H_{32}O_2$	256,4	52,90
unknown			70,10	48,47
unknown			58	47,75
Oxacyclododecan-2-one	5,63	$C_{11}H_{20}O_2$	184,27	100
Cyclooctaneacetic acid, 2-oxo-		$C_{10}H_{16}O_3$	184,23	84
unknown			85	57,23
unknown			208,10	54,62
Phthalic acid, 2-ethylhexyl isohexyl ester	5,84	$C_{22}H_{34}O_4$	362,5	100
Bis (2-ethylhexyl) phthalate		$C_{24}H_{38}O_4$	390,55	29,78
2- (Hexyloxycarbonyl) benzoic acid		$C_{14}H_{18}O_4$	250,29	19,92
unknown			56	13,39
unknown			105	13,35
Butanedioic acid, 2,2-dimethyl-, bis (1-methylpropyl) ester	6,30	$C_{14}H_{26}O_4$	258,35	100
5.alpha.-Androstan-16-one, cyclic ethylene mercaptole		$C_{21}H_{34}S_2$	350,6	86,82
Diisopropyl adipate		$C_{12}H_{22}O_4$	230,3	65,27
unknown			130	56,07
unknown			58	51,46
9,12-Octadecadienoyl chloride, (Z, Z) -	6,55	$C_{18}H_{31}ClO$	298,9	100
cis, cis-7,10, -Hexadecadienal		$C_{16}H_{28}O$	236,39	83,83
1,3,12-Nonadecatriene		$C_{16}H_{34}$	262,5	61,43
unknown			82,10	60,48
unknown			96,10	49,60
9-Octadecenal, (Z) -	7,14	$C_{18}H_{34}O$	266,46	100
Cyclohexylamine, N- (2-chlorocyclopentylidene) -, N-oxide			56,10	72,65
17-Octadecynoic acid		$C_{18}H_{32}O_2$	280,4	53,40
unknown			67,75	48,71
unknown			208,10	45,31

3.4 ANTIOXIDANT ACTIVITY

3.4.1 DPPH TEST

The analysis of antioxidant activity at different concentrations analyzed, revealed a highly significant inhibitory activity between the treated and control hydro-methanolic extracts ($p < 0.001$). The treated extract showed a higher inhibitory percentage at all concentrations tested compared to the control: C50 ($T_1 = 81.00 \pm 4.34\%$ vs. $T_0 = 42.67 \pm 5.26\%$); C100 ($T_1 = 84.87 \pm 3.60\%$ vs. $T_0 = 44.14 \pm 4.61\%$); C150 ($T_1 = 88.02 \pm 2.29\%$ vs. $T_0 = 52.85 \pm 4.32\%$) and C200 ($T_1 = 90.37 \pm 1.21\%$ vs. $T_0 = 62.55 \pm 7.28\%$). The treatment showed its optimal activity at the concentration of 200 µg/mL with a percentage of inhibition of $90.37 \pm 1.21\%$. As for the control, its highest inhibition percentage $62.55 \pm 7.28\%$ was also found at the same concentration (Figure 1). Gallic acid used as a reference inhibited $85.56 \pm 2.23\%$ of DPPH radical at a concentration of C100 compared to $84.23 \pm 1.06\%$ for the treated extract and $45.53 \pm 0.98\%$ for the control extract (Figure 1).

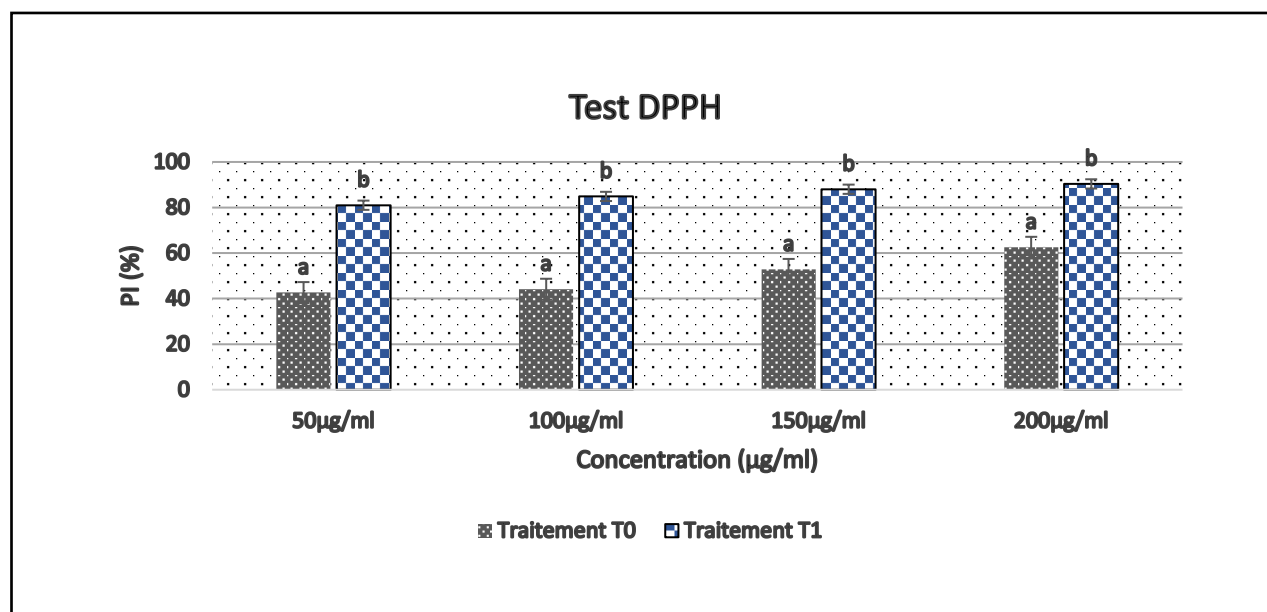


Fig. 3. Percentage of DPPH radical inhibition by leaf extracts of *Abelmoschus esculentus*

3.4.2 ABTS Test

Analysis of the ABTS test results follow a normal distribution at different concentrations ($p\text{-value} > 0.05$). Figure 2 shows that the cation radical ABTS⁺ was significantly inhibited at all concentrations tested, and in a dose-dependent manner by the treated leaf extracts compared to the control extract; C50 (T1= $77.58 \pm 0.43\%$ versus T0= $44.45 \pm 1.39\%$); C100 (T1= $84.23 \pm 1.06\%$ vs. T0= $45.53 \pm 0.98\%$); C150 (T1= $89.30 \pm 0.63\%$ versus T0= $48.85 \pm 1.32\%$) and C200 (T1= $91.47 \pm 1.01\%$ vs. T0= $67.83 \pm 4.56\%$). Similarly, the difference was highly significant between treatments at the same concentrations ($p\text{-value} < 0.001$). As for the DPPH assay, the extract showed better antioxidant activity in the treatment than in the control (Figure 1). At low concentration C50, the treatment showed an IP of 77.58 ± 0.43 versus 44.45 ± 1.39 for the control. The highest concentration C200 showed for both control and treatment, the IPs of 67.83 ± 4.56 and 91.47 ± 1.01 . At the C100 concentration, the percentage of gallic acid inhibition taken as reference was assessed at $96.08 \pm 2.40\%$ against $45.53 \pm 0.98\%$ for the control and $84.23 \pm 1.06\%$ T1.

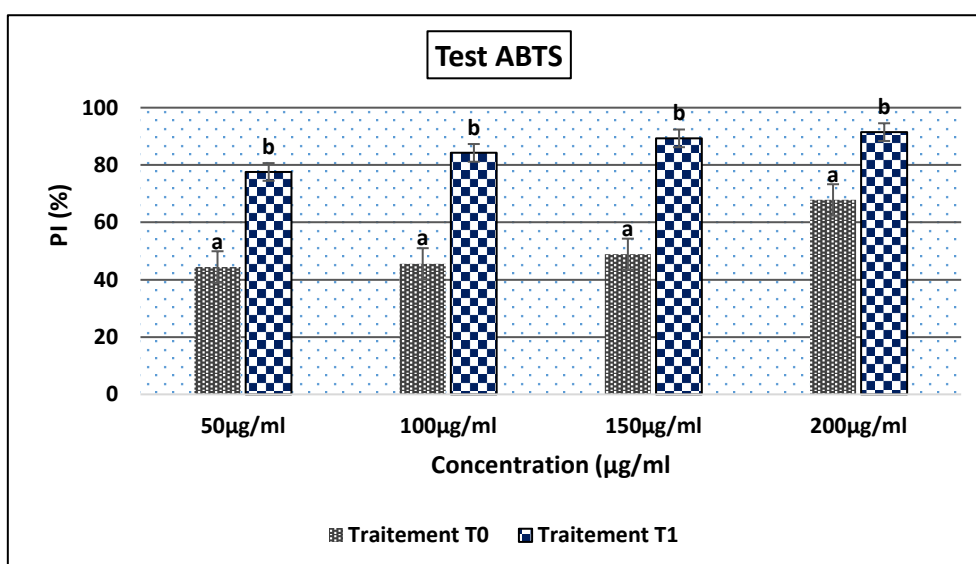


Fig. 4. Percentage of inhibition of ABTS⁺ cation by extracts of leaves of *Abelmoschus esculentus*

3.4.3 TEST FRAP

Analysis of the antioxydant data by Shapiro-Wilk test, do not follow a normal distribution at different concentrations ($W = 0,68612$; $p\text{-value} = 0.8559$). The analysis of the reduction power, revealed a highly significant inhibitory activity between the treated T1 and control T0 hydro-methanolic extracts ($p < 0.001$). The treated extract ($85,40 \pm 0,14\%$) showed a higher inhibitory percentage compared to the control ($36,43 \pm 0,12\%$) (figure 3).

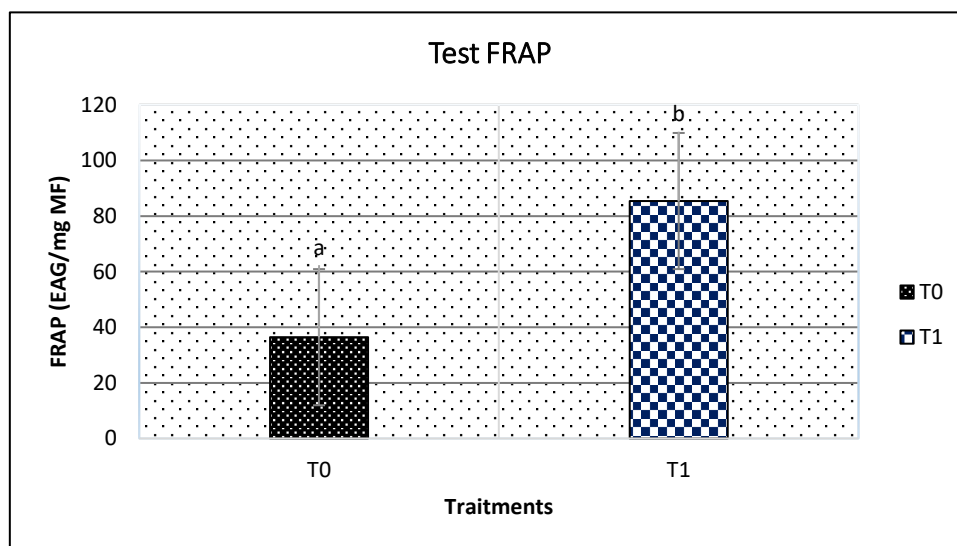


Fig. 5. Reducing power of *Abelmoschus esculentus* leaf extracts

3.5 OXIDATIVE STRESS ENZYMES

Analyses of variance of the oxidative power of catalase and superoxide dismutase showed a highly significant activity between enzymes according to their concentrations ($p\text{-value} < 0.001$) and between enzymes according to the treatments ($p\text{-value} < 0.001$). Glutathione peroxidase from its concentration also showed highly significant activity between T1 and T0 ($p\text{-value} < 0.001$). The highest enzymatic activity was attributed to catalase whose concentration in the fruit extract of T1 treatment was 38.47 ± 1.40 U/min/ml/protein compared to that of superoxide dismutase ($25.47 \pm 0.021.40$ U/min/ml/protein) for the same unit (Figure3). The level of glutathione peroxidase (5.70 ± 0.20 mmol/L) is higher than the control (3.21 ± 0.02 mmol/L). CAT and SOD for the control show lower activity than the treatment at the respective concentrations of 17.93 ± 0.58 U/min/ml/protein and 13.27 ± 0.02 U/min/ml/protein (Figure 4).

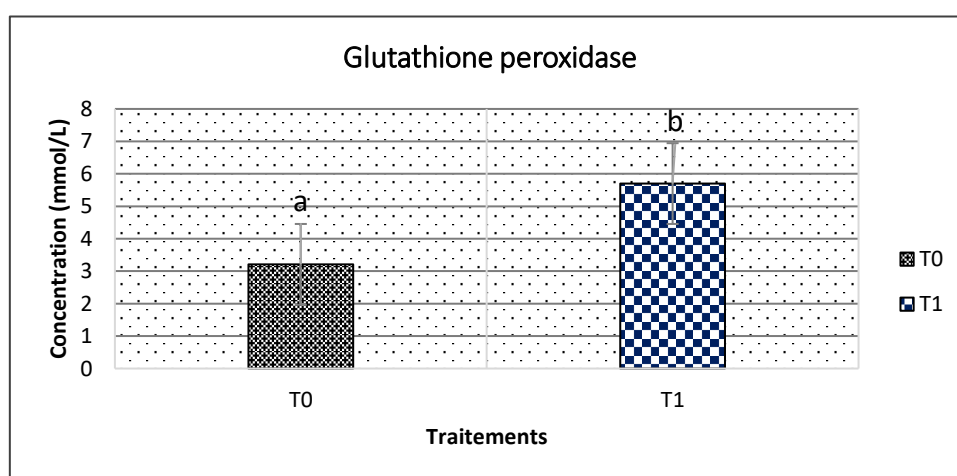


Fig. 6. GPx content of *Abelmoschus esculentus* extracts

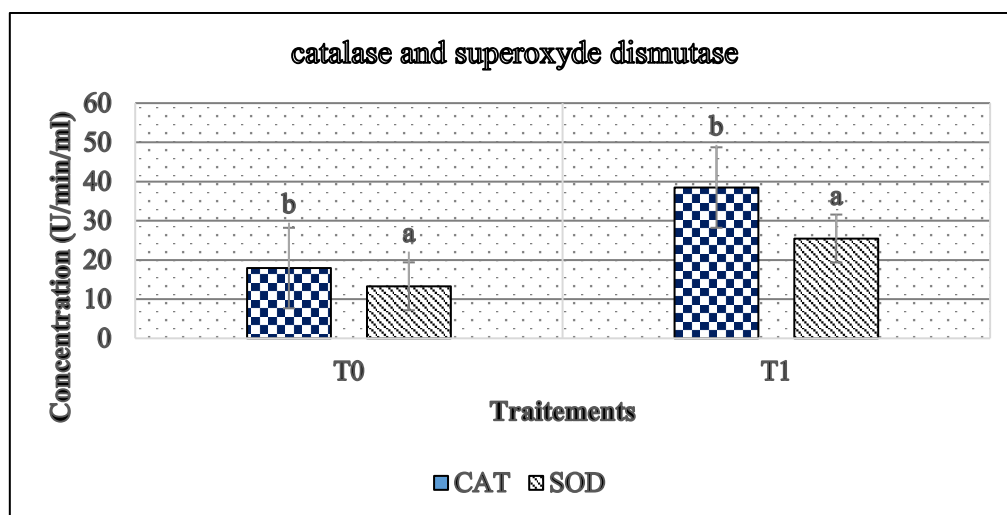


Fig. 7. CAT and SOD content of *Abelmoschus esculentus* extracts

4 DISCUSSION

The present study was carried out in order to evaluate the effect of soil amendment using *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* bioformulation on the biochemical parameters and antioxidant activity of okra extracts. It was reported that bioformulation positively influenced the organic matter content (3.21%) and pHwater of the cropland (6.70) to be nearly neutral. This contributed to the effective growth of okra, which requires an optimal pH between 6 and 7 [24]. The relative moisture of the agro-ecological zone with bimodal rainfall is about 1638 mm, which responds favorably to the water required for okra at the vegetative growth stage for an average need of 900 to 1200 mm [25]. The temperature of the environment, which is 24.5°C, also satisfies the needs of the plant for rapid growth at a temperature between 20 and 30°C [25]. Regarding the agromorphological parameters, it was found that they were favorably influenced by the bioformulation in terms of plant height, plant vigor, leaf area, fruit length, and an average weight of the treatment. This could be justified by the biostimulant activity of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* that contributed to mineralize organic matter to make it available to the plant for optimal growth [26] with their ability to colonize plant roots. The increase in plant vigor could be attributed to *Trichoderma Harzianum* which has the ability to parasitize fungi belonging to a very wide range of plant pathogens producing harmful secondary metabolites to the plant according to [27].

The hydro-methanolic solution used in the present study permitted to extract secondary metabolites from okra leaves. It was found that okra leaves treated with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* bioformulation have more metabolites belonging to several chemical classes compared to the control. This could be due to the capacity of these microorganisms to secrete bioactive molecules that would stimulate the expression of genes responsible for metabolic synthesis pathways in *Abelmoschs esculentus* plant, whence the overexpression of these secondary metabolites. These results confirm those of [28] that stated that the leaves of *Datura innoxia* Mill. grown out of soil and in nutritional condition overexpressed secondary metabolites of different chemical classes. Secondary metabolites such as polyphenols are not produced directly during photosynthesis but are the result of subsequent chemical reactions; suggesting that biosynthesis of these metabolites occurs in an enhanced manner in the organs at the time of their optimal growth to ensure their protection and fructification of plants. This assertion is corroborated by [29] who stated that like primary compounds, the composition of secondary metabolites in organs changes with their degree of maturity. This justifies the choice of our collection of plant material at the reproductive stage of the plant.

Regarding the antioxidant activity which corresponds to the capacity of a compound to oxidize, most of the antioxidants of synthetic or natural origin have hydroxy phenolic groups in their structure and the antioxidant properties are attributed partially to the capacity of its natural compounds to scavenge free radicals such as hydroxyl radicals (OH^+) and superoxide (O_2^+) Bartosz (2003). The results obtained showed that the hydro-methanolic extract of the fruits from the treated soil was more active than that of the untreated soil in the three tests performed. furthermore, at the same concentrations tested, the IPs obtained by the DPPH test was slightly lower than those of the ABTS method. This could be explained by the presence of substances that show absorption bands at the same wavelength as those of the DPPH' radical leading to the increase of absorbance [11] and thus complex interpretations. The FRAP test shows a higher ferric ion reducing power of the treated leaves than the control. Thus, from these 3 tests, it was found that the antioxidant activity of the leaves extract of T1 is higher than the T0. This could be justified by the content of secondary metabolites like polyphenol class overexpressed in the plants of this treatment T1 compared to the control T0 as previously described by [12] where plant of *Piliostigma thonningii* Schumacher through their secondary metabolites contain, increased their antiradical activity.

5 CONCLUSION

The aim of this work was to analyze the effect of bioformulation with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* on the physicochemical parameters of the soil and biochemical parameters of okra plant. A phytochemical screening was carried out to identify the different chemical compounds present on okra leaves. The identification of these different compounds influenced by microorganisms would allow a better exploitation of the plant in terms of nutrition and health level. The analysis of the antioxidant activity and antioxidant enzymes stress of the fruit extract shows that the symbiosis of the beneficial microorganisms through bioformulation positively influenced these different parameters. The results also show that the symbiosis of beneficial microorganisms through bioformulation positively influenced these parameters, as well as soil physicochemical parameters and plant growth. The overall results thus show a significant influence of bioformulation on the treatment compared to the control.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the National Laboratory of Diagnostic Analysis of Agricultural Products and Intrants of the Ministry of Agriculture and Rural Development and also the Laboratory of Soil Analyses and Chemical Environment for their support throughout this study. We also thank Mr. Bessala Ngono Jacques for proofreading the work.

REFERENCES

- [1] Mahamadi H.O., Lardia A.B., Mahamadou S., Nerbéwendé S., Zakaria K. and Rasmata N. Modes of farmers' management of okra seeds (*Abelmoschus esculentus* L.) in Burkina Faso. *Internat. Journal of Dev. Research*, vol. 21, pp 69-80, 2016.
- [2] Schippers R.R. (2000). African indigenous vegetables. An overview of the cultivated species. Natural Ressources Institute/ACP-EU Technical Centre for Agriculture and Rural Cooperation, Chatham, 214.
- [3] Nana R., Zombre G., Tamin Z. & Sawadogo M. Effet du régime hydrique sur les rendements du gombo enculture de contre-saison (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) en culture de contre saison. *Sciences& Nature*, vol. 6, no. 2, pp 107 – 116, 2009.
- [4] IFA. World Fertilizer Use Manual. Eds. D.J. Halliday and M.E. Trenkel 632 p, 1992.
- [5] Eifediyi E.K., Mohammed K.O., Remison S.U. Effects of neem (*Azadirachta indica* L.) Seed cake on the growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Agriculture* vol. 21, pp 46-52, 2015.
- [6] Sawadogo M., Balma D., Zombre G. Expression of different okra (*A. esculentus* L.) ecotypes to water deficit during buttoning and flowering. *BASE, Biotechnology, Agronomie, Société, Environnement*, vol. 10, no. 1, pp 43-54, 2006.
- [7] Faessel L., Gomy C., Nassr R., Tostivint C., Hipper C., Deschanteloup A. Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Etude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques rapport d'étude au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt, Bio by Deloitte et RITMO Agroenvironnement, 148p, 2014.
- [8] Mbouobda H. D., Fotso, Carole A.D. Kilovis F. and Ndoumou D. O. Impact of effective and indigenous microorganisms manures on *Colocassia esculenta* and enzymes activities. *Schol. Research Library* vol. 12; no. 1086-1092, 2013.
- [9] Xu B.J., Chang S.K.C.A. Comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*, vol. 7, pp 160-16, 2007.
- [10] Gbohaïda V, Mèdoatinsa SE, Nonviho G, Bogninou-Agbidinokoun GSR, Agbangnan DCP et Sohounhloùé DCK. Chemical study and assessment of the influence of granulometry on the extraction kinetics of natural polyphenols from *Pterocarpus erinaceus* acclimatized in Benin, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 12, pp 325-333, 2015.
- [11] Sarr SO., Fall AD., Gueye R, Diop A, Diatta K, Diop N, NDiaye B, Diop YM. Study of the antioxidant activity of extracts from the leaves of *Vitex doniana* (Verbenaceae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9 pp 1263-1269, 2015.
- [12] Serigne IMD., Alioune DF., Kady D-B., Abdou S., Madieye S., Moussa S., Amadou M., William D. et Emmanuel B. Evaluation of the antioxidant activity of hydroethanolic extracts of leaves and bark of *Piliostigma thonningii* Schumach. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, pp 768-776, 2017.
- [13] Pauwels J. M., van Ranst E., Verloo M., and MvondoZe A. Manuel de Laboratoire de pédologie. Publications Agricoles N° 28. Bruxelles: AGCD, 1992.
- [14] Olivera D., Ayala J., Calero A., Santana M., Hernandez A. Pratiques agroécologiques dans la province de Santi Spiritus, Cuba. Les microorganismes efficaces, une technologie appropriée sur les bases agroécologiques 17p, 2014.
- [15] Oomah B. D., Caspar F., Malcolmson L. J., et Bellido A. S. Phenolics and antioxidant activity of lentil and peahulls. *Food Research International*, vol. 44, pp 436-441, 2010.
- [16] Kondjoyan N., Berdagué J.L. A Compilation of relative retention indices for the analysis of aromatic compounds, Edition du Laboratoire Flaveur, Theix., NIST Webbook Website, 18/06/2013, <http://webbook.nist.gov/chemistry/>, 1996.
- [17] Molyneux P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxydant activity. *Songklanakarin J. sci. Techno.*, vol. 26, pp 211-21, 2003.

- [18] Leong LP., Shui G. An investigation of antioxydant capacity on fruits in Singapore markets. Food chem., vol. 76, pp 69-75, 2002.
- [19] Pulido R. L., Bravo et Saura-Calixto F. "Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay." Journal of Agricultural and Food Chemistry vol. 48, pp 3396-3402, 2000.
- [20] Marklund S., and Marklund G. Involvement of superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. Eur. J. Biochem., vol. 47, pp 469-474, 1974.
- [21] Chance B., Maelhy A.C. Assays of catalases and peroxidases. Methods enzymol., vol. 2, pp 764-77, 1955.
- [22] Elia A.C., Dörr A.J.M., Mastrangelo C., Prearo M., Abete M.C. Glutathione and antioxidant enzymes in the hepatopancreas of crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) of Lake Trasimeno (Italy). Bulletin Francais de la Pêche et de la Protection des Milieux Aquatiques., pp 1351-1361, 2006.
- [23] Bibata K., Rasmata N., Koudbi JZ., Badoua B., Sékeyoba LN. and Zoumbiéssé T. Evaluation of agro-physiological and biochemical parameters of a variety and four accessions of gombo (*abelmoschus esculentus* L. moench) grown under natural field conditions. Int.JR Sc. R. vol. 8, pp 21154-21162, 2017.
- [24] C.A.M (Chambre d'agriculture Martinique). Les cultures maraîchères. Place d'Armes, 97232 LAMENTIN. 2p, 2007.
- [25] Desfontaines L., Rotin P., Ozier-Lafontaine H. Biostimulants: What do we know about them? What alternatives for Guyanese agriculture? Innovations Agronomiques, vol. 64, pp 31-46, 2018.
- [26] Maroua Ben A. Study of the mycoparasitic relationship between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium solani* in olive tree; Molecular and functional characterization of aquaporins in *Trichoderma harzianum*. University of Clermont Auvergne, PhD thesis pp 26-40, 2018.
- [27] Vu T.D. Effects of the environment on the growth and accumulation of secondary metabolites in *Datura innoxia* Mill. grown in soilless conditions; impact of biotic and abiotic factors. Institut national polytechnique de LORRAINE, PhD thesis. pp 110-115, 2008.
- [28] Gautier H., Massot C., Stevens R., Serino S., Génard M. Regulation of tomato fruit ascorbate content is more highly dependent on fruit irradiance than leaf irradiance. Annals of Botany, vol. 103, pp 495-504, 2009.

Impact of hypothyroidism on pregnancy

R. Watfeh, K. Matar, K. Tamim, M. Youssfi, and S. Bargach

Department of Gynecology-obstetrics, oncology and high-risk pregnancies, Souissi Maternity Hospital, Mohamed V University, Rabat, Morocco

Copyright © 2021 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: It is estimated that more than 2% of pregnant women have hypothyroidism and that the incidence of treated hypothyroidism prior to pregnancy is around 0.3% of pregnancies. In the majority of cases, hypothyroidism is mild and is due to an autoimmune mechanism, as evidenced by the presence of anti-TPO or antithyroglobulin antibodies. Pregnancy may be indicative of a fruste form, related to asymptomatic autoimmune thyroiditis, which is unable to increase its hormone production to meet the specific needs of pregnancy. It can also be the consequence of moderate or severe iodine deficiency. Moreover, thyroid balance during pregnancy is essential for good fetal brain development. In fact, several studies have shown that children born to mothers who are not or insufficiently substituted for hypothyroidism have lower intelligence quotients than the general population. In addition, other maternal consequences (gravid hypertension, pre-eclampsia, etc.) and fetal consequences (IUGR, intellectual deficit) of hypothyroidism during pregnancy have been described. Although current recommendations suggest targeted screening of patients at risk of hypothyroidism, it is desirable that, in the near future, this screening becomes systematic as soon as the diagnosis of pregnancy is confirmed. L-thyroxine treatment should then be rapidly initiated (or adapted in the case of known hypothyroidism prior to pregnancy) with the aim of achieving a TSH of less than 2.5 mIU/l. In all cases, iodine supplementation should be offered from the preconceptional period through to breastfeeding.

KEYWORDS: Hypothyroidism; Pregnancy; Iodine deficiency; Antithyroid antibodies, Thyroid autoimmunity.

1 INTRODUCTION

Despite the apparent clinical latency, both pregnancy and the postpartum period are challenging for the thyroid gland. The thyroid gland possesses significant adaptive capacities which, on the whole, enable it to cope with the increased hormonal requirements and the depletion of the iodine load. However, imbalances are possible, which has consequences for the maternal and foetal situation. Indeed, it has been shown that certain thyroid dysfunctions such as hypothyroidism can increase the risk of spontaneous miscarriage, be responsible for alterations in brain development and increase the risk of obstetric complications such as preterm delivery.

2 PHYSIOLOGICAL CHANGES IN MATERNAL THYROID FUNCTION DURING PREGNANCY

Thyroid function is physiologically altered during pregnancy [1,2,3]. Indeed, many thyroid adaptations occur:

- The level of Thyroxin Binding Globulin (TBG), a transport protein with a very high affinity for thyroid hormones, is increased due to hyperestrogenism. Indeed, hyperestrogenism stimulates the hepatic synthesis of TBG and increases its sialylation, which increases its half-life. This increase is responsible for an increase in the binding of T3 and T4 to TBG (three quarters of T4 is bound to TBG during pregnancy, compared to two thirds outside of pregnancy), which in turn leads to an increase in thyroid hormone production. Thus, total T3 and T4 concentrations are increased during pregnancy and stabilise at 1.5 times the normal value. In contrast, the free fraction (free T4), which represents the biologically active fraction and is the one usually measured, is little changed. It should be noted, however, that there may be variations due to haemodilution and iodine deficiency (20-30% decrease in levels). Thus, the interpretation of thyroid hormone levels is difficult during pregnancy and specific standards, depending on the term of the pregnancy, would be necessary;

- Iodine availability is decreased, due to the transplacental passage of part of the iodine (fetal needs) on the one hand, and the increased renal clearance of iodine on the other hand. In addition, the activity of the iodine transporter ("iodine-sodium symporter" or NIS) is reduced as a result of estrogen impregnation. As a result, there is a relative iodine deficiency during pregnancy. Epidemiological studies have shown that most pregnant women in France are deficient. Iodine deficiency favours hypothyroxinemia and contributes to the increase in maternal thyroid volume. In the foetus, the thyroid is functional from the second month of pregnancy and the decrease in iodine availability reduces its synthesis capacity. Thus, due to the consequences of iodine deficiency, a supplementation of 200 µg/day is recommended during pregnancy;
- Placental chorionic gonadotropin or HCG has a thyroid-stimulating effect, due to its structural homology with TSH. Thus, HCG binds to the TSH receptor, stimulates the growth of the thyroid gland and leads to an increase in T4. The elevation of HCG in the first trimester of pregnancy is accompanied by a mirror decrease in TSH. Classically, it is said that an increase in HCG of 10,000 units leads to an increase in T4 of 0.6 pmol/l, and a decrease in TSH of 0.1 mIU/l (by feedback). In certain circumstances (twin pregnancies, hydatidiform mole), high HCG levels can lead to transient gestational hyperthyroidism or "hyperemesis gravidarum" which resolves spontaneously between the third and fifth month of pregnancy. In the second half of pregnancy, TSH levels normalise and return to pre-pregnancy values;
- The placenta secretes type 3 deiodase, resulting in an increase in inactive T3. All these biological changes are responsible for an increase in the volume of the thyroid gland, by about 30%. The fetal thyroid is in place from the second trimester of gestation and hormone synthesis begins from the 18th week of gestation. Prior to this time, thyroid hormone levels detected in the amniotic fluid are the result of transplacental passage of maternal hormones. It should be noted that this transfer of maternal hormones continues throughout the pregnancy. In the fetus, the role of thyroid hormones is essential for proper neurological development. It is the type 2 deiodase of the fetus that transforms maternal T4 into the active hormone T3 in the brain. Thus, the maternal T4 level must be normal in order to maintain a normal brain T3 level in the fetus.

3 DIAGNOSIS

Approximately 2% of pregnant women have hypothyroidism, which is most often subclinical. The incidence of clinical hypothyroidism is estimated to be 0.5% [2]. The two main causes are iodine deficiency and autoimmune Hashimoto's disease, associated with the presence of antithyroperoxidase and antithyroglobulin antibodies. Patients with type 1 diabetes have a three- to five-fold increased risk of hypothyroidism [4,5]. Hypothyroidism may precede pregnancy or be discovered during pregnancy. The diagnosis of hypothyroidism is difficult during pregnancy. Indeed, most signs are often attributed to the pregnancy itself: weight gain, muscle cramps, asthenia, constipation. The presence of bradycardia, hair loss, and dry skin can guide the diagnosis. Very often, the diagnosis is made by chance during a biological assessment. The biological diagnosis is based on the elevation of plasma TSH. Due to the physiological decrease in TSH in early pregnancy, some authors consider that a TSH level above 2.5 mIU/l [1] is sufficient to suggest the diagnosis and treatment. Free T4 is normal or low.

4 MATERNAL CONSEQUENCES OF HYPOTHYROIDISM

The maternal consequences of hypothyroidism are multiple. Indeed, there is an increased incidence of gravid hypertension, pre-eclampsia and premature delivery. The incidence of postpartum haemorrhage is also higher in hypothyroid patients [1]. These complications appear to be more common in severe hypothyroidism, but are also described in subclinical hypothyroidism. Abalovich et al [6] studied 150 pregnancies in 114 hypothyroid women. Fifty-one pregnancies (34%) occurred in patients who were not well controlled, and 99 in patients who were well controlled on treatment. The rate of SCC was 60% in the frank clinical hypothyroidism group and 71% in the subclinical hypothyroidism group. The preterm delivery rate was 20% in the frank hypothyroidism group and 7% in the subclinical hypothyroidism group. Conversely, in the well-balanced patients, the complication rate was similar to that of the general population. This study therefore shows the value of perfect thyroid function adjustment, even in subclinical hypothyroidism.

5 FETAL IMPACT OF HYPOTHYROIDISM

Hypothyroidism may be permanent or transient, disappearing after birth. The transient form is usually the result of transplacental passage of blocking antibodies, iodinated drugs or immaturity of the hypothalamic-pituitary axis in the premature baby [7]. Congenital hypothyroidism may be manifest at birth (picture of growth retardation, hypothermia, myxedema, macroglossia, micrognathia, delayed closure of the posterior fontanel, dry skin, umbilical hernia, jaundice) [8]. In cases of maternal hypothyroidism, fetal development is usually normal with no birth sequelae. Thyroid hormone deficiency in

the fetus during the first trimester may also result in low birth weight, [8,9] moderate to severe intellectual deficits: cretinism (lower than average IQ, slower language development with occasional mutism, and poorer school performance), and spastic motor deficits of varying severity., [8,9] (J.-L. Wémeau et al.) Rovet et al [10] studied in 2004 the cognitive performance of 66 children born to mothers with hypothyroidism treated with L-thyroxine during pregnancy. The treatment was aimed at achieving a TSH between 5 and 7 mIU/l. The results show that certain cognitive performances are impaired (memory), which would therefore lead to a demand for a better balance of thyroid function during pregnancy. Iodine deficiency is one of the main causes of hypothyroidism during pregnancy. This deficiency leads to maternal and fetal thyroid morphological changes such as thyroid hyperplasia or goitre. In addition, this deficiency appears to impair the cognitive performance of the fetus, with an IQ 10 to 13 points lower than the average according to the studies [11,12].

However, the studies are difficult to interpret because they include patients with moderate to severe deficiency. A recent Sicilian study [13] showed that children born to mothers with moderate iodine deficiency had an IQ 10 points lower than children whose mothers were not deficient. Finally, the authors report an incidence of attention deficit hyperactivity disorder in 69% of children born to deficient mothers. Thus, these studies show that children born to mothers with hypothyroidism or hypothyroxinemia during pregnancy have (moderate) cognitive impairments. Substitution seems to improve the cognitive performance of the children. In addition, other studies have suggested the deleterious role of maternal antithyroid antibodies: a ten-point reduction in IQ in children born to mothers with increased antithyroperoxidase antibodies at 28 weeks has been reported [14]. But it cannot be excluded that this was related to a greater predisposition to maternal hypothyroxinemia. A few rare cases of fetal hyperthyroidism have been described in pregnant patients with Hashimoto's thyroiditis with the presence of anti-RTSH antibodies behaving as thyroid stimulating antibodies in the fetus [8].

Screening for hypothyroidism in some women considering pregnancy Since hypothyroidism is common in pregnancy and has neonatal and paediatric consequences, is easy, accessible and inexpensive to screen for, and can be effectively treated during pregnancy (in terms of maternal and foetal complications) with no side effects, screening for hypothyroidism can be suggested [15]. It is based on TSH measurement and it is only when TSH is increased that the assessment will include a T4I measurement (to be interpreted according to iodine deficiency prophylaxis) and possibly the search for anti-thyroperoxidase antibodies (TPO). 5] If possible, it should be carried out before the start of the pregnancy or during the first obstetric visit. It is recommended according to a recent consensus of endocrinologist experts in women with: [3,5]

- Personal or family history of thyroiditis, postpartum thyroiditis, thyroid surgery
- Family history of diabetes
- Goiter
- Anti-TPO+ antibodies
- Clinical signs of thyroiditis
- Type 1 diabetes
- History of autoimmunity
- History of cervical radiation

6 THERAPEUTIC MANAGEMENT AND PREVENTION

6.1 PREVENTION OF IODINE DEFICIENCY

Severe iodine deficiency is a major public health problem. The aim is to treat the deficiency preventively before or at the very beginning of pregnancy to allow the increase of thyroid production before the second trimester and prevent complications. 16] The WHO recommends 200 lg/d of iodine intake. Consumption of fortified sea salt, seafood and certain fish contributes to this, but not enough since it is recommended to reduce salt consumption during pregnancy. The measurement of ioduria (in lg/l or lg/24 h) is not very effective for individuals, as it represents an instantaneous reflection of iodine intake. Moreover, it is an out-of-nomenclature measurement, not covered by the health insurance. Hence the practical advisability of systematic iodine supplementation (100 lg/d, i.e. 1 tablet with 130 lg of potassium iodide) [1].

6.2 THYROID HORMONE REQUIREMENTS

If hypothyroidism is known prior to pregnancy, it is recommended in practice to increase thyroid hormone intake by approximately 30% once pregnancy has been confirmed, with subsequent dosage adjustment to achieve hormonal balance.

17] TSH should be monitored regularly and the replacement dosage increased to achieve a TSH level close to 1 mU/l throughout the pregnancy.

6.3 EARLY DIAGNOSIS

TSH and anti-TPO antibody testing should be recommended before 12 weeks of pregnancy if there is a family history of thyropathy, a history of postpartum thyroiditis or previous dysthyroidism, iodine medication, a geographical area of iodine deficiency, or if hypothyroidism is suspected. Because of the severity of complications and the often asymptomatic nature of hypothyroidism, routine testing of TSH, possibly anti-TPO antibodies before the 12th week of pregnancy in all pregnant women, is questioned. Treatment of hypothyroidism discovered in pregnancy If hypothyroidism is frank, immediate replacement therapy should be started at a dose of 1.8-2 lg/kg/d, which is higher than that used in the absence of pregnancy. 18] If hypothyroidism is discrete (<10 mU/l), a lower dose of around 100 lg/d is possible. Wiersinga recommends treatment if TSH is above 2 mU/l with positive anti-TPO antibodies, and if TSH is above 5 mU/l with negative anti-TPO antibodies in early pregnancy, reassessing TSH after 6 weeks, and adjusting therapy to achieve TSH close to 1 mU/l [19].

7 CONCLUSION

Thyroid function testing appears to have an important place in the preconception period and during pregnancy. It should be offered to all women with a history of thyroid disease, a family history of thyroid disease or other autoimmune diseases. There is no consensus in the scientific literature on routine screening of thyroid function in women of childbearing age. On the other hand, the most recent publications insist on the interest of systematic screening during pregnancy. In all cases, iodine substitution should be systematic during preconception (100µg/day), pregnancy and lactation (200 µg/day). The consumption of seafood, the choice of cooking method (in foil, in the microwave oven), and the use of iodine-enriched sea salt can contribute to this.

REFERENCES

- [1] Wémeau J, D'Herbomez M, Perimenis P, Vélayoudoum F. Thyroïde et grossesse. EMC-Endocr 2005; 2: 105–20.
- [2] Glinioer D. The regulation of thyroid function in pregnancy: pathways of endocrine adaptation from physiology to pathology. Endocr Rev 1997; 18: 404–33.
- [3] S. Ouzounian, S. Bringer-Deutsch, C. Jablonski, L. Théron-Gérard, E. Snaifer, I. Cédrin-Durnerin, J.-N. Huguesypothyroïdie: du désir de grossesse à l'accouchement. Gynécologie Obstétrique & Fertilité 35 (2007) 240–248.
- [4] Gallas PRJ, Stolk RP, Bakker K, Endert E, Wiersinga WM. Thyroid dysfunction during pregnancy and in the first postpartum year in women with diabetes mellitus type 1. Eur J Endocrinol 2002; 147: 443–51.
- [5] P. Caron Prévention des désordres thyroïdiens au cours de la grossesse. Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction (2009) 38, 574–579.
- [6] Abalovich M, Gutierrez S, Alcaraz G, MacCallini G, Garcia A, Levalle O. Overt and subclinical hypothyroidism complicating pregnancy. Thyroid 2002; 12: 63–8.
- [7] Smallridge RC, Ladenson PW. Hypothyroidism in pregnancy: consequences to neonatal health. J Clin Endocrinol Metab 2001; 86: 2349–53.
- [8] Radetti G, Zavallone A, Gentili L, Beck-Peccoz P, Bona G. Foetal and neonatal thyroid disorders. Minerva Pediatr 2002; 54: 383–400.
- [9] Glinioer D. The regulation of thyroid function in pregnancy: pathways of endocrine adaptation from physiology to pathology. Endocr Rev 1997; 18: 404–33.
- [10] Rovet J. Neurodevelopmental consequences of maternal hypothyroidism during pregnancy. Thyroid 2004; 14: 710.
- [11] Vermiglio F, Sidoti M, Finocchiaro MD, Battiato S, Lo Presti VP, Benvenga S, et al. Defective neuromotor and cognitive ability in iodine deficient schoolchildren of an endemic goiter region in Sicily. J Clin Endocrinol Metab 1990; 70: 379–84.
- [12] Aghini Lombardi FA, Pinchera A, Antonangeli L, Rago T, Chiovato L, Bargagna S, et al. Mild iodine deficiency during fetal/neonatal life and neuropsychological impairment in Tuscany. J Endocrinol Invest 1995; 18: 57–62.
- [13] Vermiglio F, Lo Presti VP, Moleti M, Sidoti M, Tortorella G, Scaffidi G, et al. Attention deficit and hyperactivity disorders in the offspring of mothers exposed to mild-moderate iodine deficiency: a possible novel iodine deficiency disorder in developed countries. J Clin Endocrinol Metab 2004; 89: 6054–60.
- [14] Pop VJ, de Vries E, Van Baar AL, Waelkens JJ, de Rooy HA, Horsten M, et al. Maternal thyroid peroxidase antibodies during pregnancy: a marker of impaired child development? J Clin Endocrinol Metab 1995; 80: 3561–6.

- [15] Abalovich M, Amino N, Barbour LA, Cobin RH, De Groot LJ, Glinoe D, et al. Management of thyroid dysfunction during pregnancy and postpartum: an endocrine society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 2007; 92: S1—47.
- [16] Glinoe D. Pregnancy and iodine. *Thyroid* 2001; 11: 471–81 [17]. Alexander EK, Marqusee E, Lawrence J, Jarolim P, Fischer GA, Larsen PR. Timing and magnitude of increases in levothyroxine requirements during pregnancy in women with hypothyroidism. *N Engl J Med* 2004; 351: 241–9.
- [17] Mandel SJ. Hypothyroidism and chronic auto-immune thyroiditis in the pregnant state: maternal aspects. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2004; 18: 213–24.
- [18] Wiersinga WM. Thyroid hormone replacement therapy. *Horm Res* 2001; 56: 74–81.

Diversité et distribution des moyens et grands mammifères des presqu'îles PK28 et Apollinaire du nord du Parc National Taï, Côte d'Ivoire

[Diversity and distribution of large and medium-sized mammals of PK28 and Apollinaire quasi-island of the north of Taï National Park, Côte d'Ivoire]

Célestin Yao Kouakou^{1,2}, Cleoun Joel N'gorand¹, André Djaha Koffi^{1,2}, Roger Malé Kely^{1,2}, Antoine Kouamé N'guessan¹, Abdoulaye Diarrassouba³, Adama Tondossama⁴, and Jean-claude Koffi Béné¹

¹Laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²Conservation et Valorisation des Ressources Naturelles, Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Direction de Zone Sud-Ouest, Office Ivoirien des Parcs et Réserves, Soubré, Côte d'Ivoire

⁴Direction Générale, Office Ivoirien des Parcs et Réserves, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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: Knowledge of the diversity of the species, their distribution and that of the pressure factors weighing on the fauna of a protected area are essential to better appreciate the conservation status and guiding decision-making for management. This study aims to contribute improving knowledge of the fauna of Taï national Park (TNP) by providing the first information about the diversity of medium and large-sized mammals and the threats to them in the PK28 and Apollinaire quasi-islands (hereafter island). Data were collected using 23 camera traps and during recce surveys at those islands in the north of the TNP, between January and February 2019. In total, 13 species of mammals were identified. Medium and large-sized mammals were more diverse at the PK28 island than at the Apollinaire island. Two of the species identified on those islands are classified as threatened species according to the Red List of the International Union for the Conservation of Nature. It was an endangered species (EN), the common pangolin (*Phataginus tricuspis*) and a vulnerable species (VU), the Leopard (*Panthera pardus*). Furthermore, anthropogenic threats were observed with 59.68% of the indices of human aggression on the island Apollinaire against 40.32% of these indices on the island Pk28. This very valuable study underlines the need to increase conservation efforts on the islands by integrating them into the ecological monitoring and the surveillance programs, in order to better understand the ecology of the animals that exist there and to reduce illegal activities that threaten them.

KEYWORDS: Diversity, Camera trap, faune mammalienne, recce surveys, Taï National Park.

RESUME: La connaissance de la diversité des espèces, leur distribution et celle des facteurs susceptibles de menacer leur survie dans une aire protégée sont primordiales pour mieux apprécier l'état de conservation et contribuer à orienter la prise de décisions de gestion. Cette étude vise à contribuer à l'amélioration de la connaissance de la faune du Parc national Taï (PNT) en fournissant les premières informations sur la diversité des moyens et grands mammifères et des menaces qui pèsent sur ceux-ci dans les presqu'îles PK28 et Apollinaire (par la suite îles). En utilisant 23 pièges photographiques et des marches de reconnaissance sur ces îles, entre janvier et février 2019. Au total, 13 espèces de mammifères ont été identifiées. Parmi elles, sept espèces ont été identifiées sur l'île Apollinaire et 13 espèces sur PK28. Les moyens et grands mammifères étaient plus diversifiés sur l'île PK28 que l'île Apollinaire. Deux des espèces identifiées sont menacées selon la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature. Il s'agit d'une espèce en danger (EN), le Pangolin commun (*Phataginus tricuspis*) et une espèce vulnérable (VU), la Panthère (*Panthera pardus*). Des

menaces anthropiques ont été observées avec 59,68% des indices d'agression humaine sur Apollinaire contre 40,32% des indices sur Pk28. Cette étude très précieuse souligne la nécessité d'augmenter les efforts de conservation sur les îles en les intégrant dans les programmes de suivi écologique et de surveillance, afin de mieux appréhender l'écologie des animaux qui y existent et pour réduire les activités illégales qui les menacent.

MOTS-CLEFS: Diversité, mammifère, piège photographique, marche de reconnaissance, Parc National de Taï.

1 INTRODUCTION

Les mammifères sauvages jouent un rôle important dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes forestiers [1], [2]. Ces animaux constituent, en outre, une importante ressource alimentaire et constituent des sources de revenus pour les populations humaines locales dans nombreuses localités du monde [3]. Au regard de cette importance, de la dégradation et la perte croissante de leurs habitats, et du fait de la disparition des espèces de mammifères, la conservation des populations de la faune mammalienne constitue une priorité pour la communauté scientifique et les gestionnaires des milieux naturels. En Afrique, les aires protégées ont joué et continuent de jouer un rôle crucial dans la protection de nombreuses populations d'animaux et leurs habitats [4].

Malheureusement, les pressions exercées sur les aires protégées africaines qui abritent désormais l'essentiel de la faune sont de plus en plus fortes [5]. Les moyens et grands mammifères qui ont des domaines vitaux généralement plus larges que ceux d'autres animaux sont généralement plus impactés et sensibles à ces pressions, en particulier, la perte d'habitats.

En Côte d'Ivoire, la faune mammalienne devient ainsi une ressource en déclin et plusieurs espèces, autrefois abondantes, ont disparu ou sont gravement menacées d'extinction [6, 7]. En plus des raisons indiquées plus haut, ce déclin de la faune serait lié à une chasse commerciale, aux feux de brousse et à la préférence alimentaire de la population humaine pour la viande de brousse. Parmi le gibier, les mammifères sauvages de moyenne et grande taille représentent l'essentiel de la faune commercialisée et consommée comme viande de brousse [8, 9].

La faune mammalienne en Côte d'Ivoire reste largement confinée dans un réseau d'aires protégées qui est constitué de huit parcs nationaux et sept réserves. Parmi ces aires protégées, le Parc national de Taï (PNT), situé dans le Sud-Ouest représente le plus vaste massif forestier d'Afrique de l'Ouest. Sa superficie est estimée actuellement à 536016 ha incluant la réserve de faune du N'Zo [10, 11]. Différentes études y ont révélé la présence d'environ 146 espèces de mammifères soit 93 % des espèces de mammifères de la zone forestière ouest-guinéenne [10].

Au nord du PNT, précisément dans sa partie constituée par la réserve de faune du N'Zo, il existe 11 presque-îles qui le séparent du lac de Buyo. Celles-ci sont des portions de terre avec une végétation de forêt dense humide entourées d'eau mais elles font partie du parc auquel elles sont connectées par un ou plusieurs côtés en fonction de la saison. Ces presque-îles (notées îles par la suite) dont les superficies varient entre 5,7 ha et 79,2 ha abriteraient de nombreuses espèces animales en général et des mammifères en particulier [10]. Les moyens et grands mammifères des 11 îles de la partie nord du PNT la séparant du lac de Buyo demeure encore méconnue. Le programme de suivi écologique en cours depuis 2005 au PNT qui vise à connaître l'évolution de la population des primates, éléphants et des ongulés n'inclut pas les observations au niveau de ces îles [12]. Notons que ce programme s'appuie sur le comptage direct d'animaux et le comptage d'indices de présence pendant le jour lors de parcours de transects linéaires dont aucun n'est localisé sur les îles. Il en résulte ainsi une connaissance limitée de la faune à l'échelle de l'ensemble du PNT. Cette situation constitue une préoccupation pour le gestionnaire du parc et la communauté scientifique.

La présente étude a pour objectif général d'améliorer la connaissance de la faune du PNT pour sa meilleure conservation. De façon spécifique, il s'est agi de:

- Evaluer la diversité de la faune mammalienne et sa distribution dans des presque-îles (Apollinaire et PK28) du nord du PNT;
- Déterminer les types de pression anthropique qui pèsent sur les îles Apollinaire et PK28.

Au regard de la petite taille des îles étudiées qui font moins de 100 ha chacune et de leur isolement du reste du parc, ainsi que la pression anthropique qui s'y exercerait, la diversité spécifique des moyens et grands mammifères en leur sein serait très faible.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ETUDE

L'étude a été réalisée au nord du PNT qui est situé au sud-ouest de la Côte d'Ivoire (Fig.1a), entre les régions de la Nawa, de San Pédro et du Cavally. Le PNT, est l'un des derniers grands vestiges de forêt tropicale primaire continue et protégé de l'Afrique de l'Ouest. Il est compris entre 5°08' et 6°24' de latitude nord et entre 6°47' et 7°25' de longitude ouest, dans l'espace entre les fleuves Cavally et Sassandra (Figure 1b). Au regard de son importance pour la conservation de la diversité biologique, le PNT a intégré le réseau international de « Réserves de la Biosphère » en 1978, et il est inscrit sur la liste du « Patrimoine Naturel Mondial de l'Humanité de l'UNESCO » depuis 1982 [10].

Le climat du sud-ouest de la Côte-d'Ivoire est du type subéquatorial, chaud et humide toute l'année. La moyenne des précipitations annuelles varie de 1 700 à 2 100 mm et la température moyenne mensuelle varie de 24 à 28° C [13]. L'humidité relative moyenne mensuelle de l'air est comprise entre 80 et 85% et peut atteindre souvent 100% pendant la nuit [14]. Le relief du PNT est dominé par des pentes douces qui descendent graduellement d'environ 300 m jusqu'à la mer. Il est enflé au sud de la Hana par de petites montagnes. Il s'agit du Mont Klon (370 m), du Mont Gilas (360 m) et du Mont Niénokoué (396 m). Le PNT est drainé par de nombreux cours d'eau, notamment par les affluents du Cavally que sont l'Audrénisrou, la Hama, le N'Zè et le Meno [15]. La partie nord du PNT est délimitée par le lac de Buyo mis en place en 1981, à la suite de la construction du barrage de Buyo qui offre un plan d'eau navigable renfermant les îles Apollinaire (Figure 1c) et PK 28 (Figure 1d), avec des superficies respectives de 41 ha et 79 ha.

La biodiversité du PNT est très diversifiée. Au niveau de la flore, le PNT fait partie de la grande région floristique Guinéo-congolaise des forêts ombrophiles denses sempervirentes. C'est essentiellement un massif de forêt dense humide sempervirente [16]. La faune du PNT compte pour la classe des mammifères environ 146 espèces soit 93 % des espèces de mammifères de la zone forestière ouest-guinéenne [10]. On y dénombre 43 espèces de chiroptères, 15 espèces d'ongulés, 16 espèces de carnivores, 41 espèces de rongeurs, 14 espèces d'insectivores, 12 espèces de primates, trois espèces de pholidotes, une espèce d'hyracoïde et une espèce de proboscidién [10], [16].

2.2 COLLECTE DES DONNEES

Les données ont été collectées du 23 janvier au 28 février 2019 au nord du PNT, précisément sur les îles PK 28 et Apollinaire. Les méthodes de marche de reconnaissance guidée ou recce [17] et de piégeage photographique (pph) [18] ont été utilisées pour la collecte des données.

La méthode de marche de reconnaissance guidée (recce) a consisté à suivre une direction prédéfinie en marchant à une vitesse comprise entre 0,5 à 1 km/h pour procéder à des observations directes et/ou indirectes (indices de présence) des mammifères sur les îles. La déviation des obstacles ne dépasse pas les 40° [17]. Lorsqu'un indice est repéré, nous enregistrons certaines informations telles que: l'heure, le type d'indice, le nombre d'indices, l'espèce et les coordonnées géographiques avec un GPS Garmin 60csx. Les prospections ont été faites pendant la journée (entre 08 h-18 h).

Pour la méthode de piégeage photographique [18], [19], une grille de maille 240 m X 240 m a été superposée sur les cartes des deux îles, en utilisant le logiciel QGIS version 2.14.7. Le milieu de chaque maille, considéré comme le point d'installation d'un pph, a été enregistré dans un GPS. En forêt, nous avons prospecté dans un rayon de 100 m de ce milieu, en vue de choisir le site qui était jugé propice pour le piégeage. Le pph était posé à une hauteur comprise entre 45 et 80 cm du sol sur le tronc d'un arbre. Le piégeage photographique permet de prendre des photos et/ou des vidéos aussi bien le jour que la nuit par déclenchement infrarouge passif qui est actionné par un capteur de type mouvement et thermique [18]. Les Pph ont été réglés en mode hybride, permettant d'enregistrer des séquences vidéos d'une minute, alternées de trois photographies, une fois qu'ils captent la présence d'un animal. Sur l'île Apollinaire et l'île PK 28, trois jours et cinq jours ont été, respectivement, nécessaires pour l'installation de huit et 15 pph. Les coordonnées de chaque pph installé ont été enregistrées à l'aide du GPS. Pour s'assurer du fonctionnement permanent des pph pendant la durée de piégeage, des piles alcalines de type AA ont été utilisées. Chaque site d'installation a été visité pour le retrait des pièges après environ un mois. Les données contenues sur les cartes mémoires des pph ont été transférées vers un ordinateur, avant la visualisation des images.

2.3 ANALYSE DES DONNEES

Le guide d'identification des mammifères d'Afrique de [20] a été utilisé pour identifier les animaux observés par piégeage photographique et par recce. La classification adoptée considérait les grands mammifères comme les mammifères ayant une masse corporelle supérieure à 15 kg et les moyens mammifères comme ceux dont la masse comprise entre 1 kg et 15 kg à l'état adulte [20].

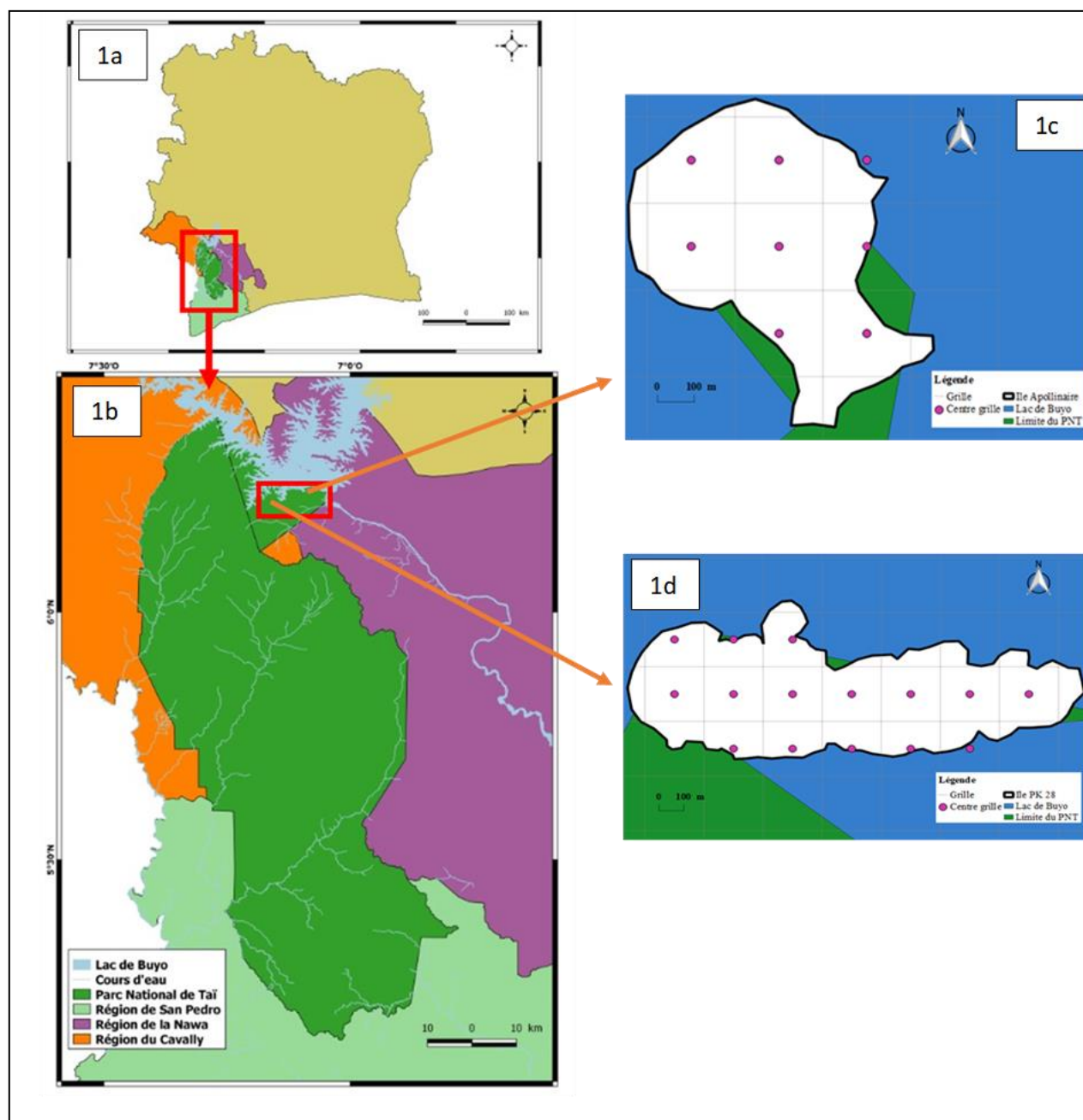


Fig. 1. Situation géographique du Parc national de Taï et des îles Apollinaire et PK28

L'effort d'échantillonnage est la distance totale parcourue lors des recce [17] et le nombre de nuit-piège lors du piégeage photographique [18]. Les nuits-pièges (NP), définies comme le rendement global des pièges en fonction de la période d'activité [18]. Elles ont été calculées comme suit:

$$NP = [N. \text{ Sites} \times n \text{ Période de 24 h de pose active}] \quad (\text{formule 1})$$

Avec N. Sites: le nombre total des sites de pose des appareils.

Pour chaque espèce, l'indice kilométrique d'abondance (IKA) ou taux de rencontre exprimé en indices/km a été calculé de façon suivante [21]:

$$IKA = \text{nombre d'indices/distance parcourue} \quad (\text{formule 2})$$

Pour les analyses des données de pph, chaque vidéo ou image a été regardée avec le lecteur VLC media Player avec attention et dans sa totalité plusieurs fois afin d'identifier les différentes espèces de mammifères. Les images des autres animaux (oiseaux et reptiles) ont été exclues. Lorsque le même mammifère (même espèce et même morphologie) apparaissait sur trois photos prises successivement en une seconde, les trois photos étaient considérées comme une capture. Si après la première photo un autre animal ou d'autres animaux apparaissaient sur la seconde photo, cette seconde photo était comptabilisée également comme une capture ainsi de suite. La vidéo qui suit les trois photos, et qui enregistre les activités du même ou des mêmes mammifères n'est pas comptabilisée comme nouvelle capture. Mais lorsqu'au cours de l'observation de la vidéo, un autre mammifère rejoint la scène alors la vidéo est comptabilisée comme une nouvelle capture [22]. Toutes les captures d'un même mammifère dans un intervalle de temps supérieur à 30 minutes pour la même position d'un Pph étaient considérées comme des événements de capture indépendantes.

La Richesse spécifique (S) se définit comme étant le nombre total des espèces recensées dans un milieu donné [23]. La fréquence de capture (FC) donne le rendement global de capture des espèces observées. Elle a été définie comme le rapport du nombre de captures (C) aux nuits-pièges (NP):

$$\text{Fréquence de capture (FC)} = C \times 1000 / NP \quad (\text{formule 3})$$

Pour évaluer la valeur de conservation des deux îles, nous avons déterminé le statut de conservation des espèces observées sur la liste rouge de l'UICN, version 2021-1.

L'évaluation de la diversité de la faune mammalienne a été faite à travers le calcul de l'indice de Shannon-Wiener (H'). Il permet de quantifier la richesse en biodiversité du milieu d'étude. L'indice de Shannon-Wiener est le plus couramment utilisé et est recommandé [23], [24]. Il est donné par la formule suivante:

$H' = -\sum p_i \times \log(p_i)$ (formule 4) où p_i l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce. L'abondance proportionnelle se calcule comme suit: $p_i = n_i / N$ (formule 5), avec n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon; N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

L'indice de Shannon-Wiener permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont co-dominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (milieu constitué d'une seule et même espèce) à $\log(N)$ (lorsque toutes les espèces ont une même abondance).

L'indice d'équitabilité de Pielou a été calculé en utilisant la formule suivante: $J = H' / H'_{max}$ (formule 6) où $H'_{max} = \log(N) = -\sum p_i \times \log(p_i)$ (formule 7); avec N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon. L'indice d'équitabilité de Pielou permet de mesurer également la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique [24]. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équi-répartition des individus dans les espèces).

Ces indices ont été calculés avec le logiciel R (version 2.8.0).

Les types de pression anthropique ont été déterminés en regroupant par catégories d'indices d'activités humaines (chasse, pêche, destruction d'habitat) identifiés sur les îles lors des prospections. Le pourcentage des indices de chaque catégorie d'activités humaines a été calculé en multipliant par 100 le rapport entre le nombre d'indices de la catégorie et le nombre total d'indices anthropiques observé.

3 RESULTATS

3.1 EFFORT D'ÉCHANTILLONNAGE

La durée totale de piégeage et de fonctionnement des Pph était de 23 jours sur l'île Apollinaire et de 24 jours sur l'île PK 28. Sur l'île PK 28, un Pph sur 15 installés n'a pas fonctionné et sur l'île Apollinaire, un Pph sur huit installés n'a pas fonctionné. Au total, 8592 nuits-pièges ont été réalisées pour cette étude, dont 2040 nuits-pièges, sur l'île Apollinaire et 6552 nuits-pièges, sur l'île PK 28. Elles ont permis d'obtenir 2073 photos et 1261 vidéos sur l'île PK 28. Sur l'île Apollinaire, ce sont 1847 photos et 483 vidéos qui ont été prises. Sur l'ensemble de ces deux sites, seulement 364 photos et 358 vidéos comportent des observations de mammifères.

Les recces ont été effectués pendant cinq jours sur l'île PK 28 et quatre jours sur l'île Apollinaire. L'effort d'échantillonnage lors de ces recces sur l'île Apollinaire et l'île PK 28 est respectivement de 9 km et de 15 km.

3.2 RICHESSE SPÉCIFIQUE, INDICE KILOMETRIQUE D'ABONDANCE ET FREQUENCE DE CAPTURE DES MOYENS ET GRANDS MAMMIFÈRES SUR LES PRESQU'ÎLES A PK28 ET APOLLINAIRE

Les moyens et grands mammifères des îles PK28 et Apollinaires sont représentés par cinq ordres, neuf familles, 12 genres et 13 espèces (Tableau 1). Les espèces les plus observées à PK28 sont le Céphalophe de maxwell (*Philantomba maxwellii*) avec 10,07 observations/1000 nuits-pièges et 1,53 indices/Km), le guib harnaché (avec 9,31 observations/1000 jours-pièges et 0,4 indices/Km) et le buffle de forêt (avec 8,39 observations/1000 jours-pièges et 1,4 indices/Km). Alors que les espèces les plus observées à l'île Apollinaire sont le céphalophe de Maxwell (avec 2,45 observations/1000 jours-pièges et 3,11 indices/Km), la Mone de Campbell (avec 1,47 observations/1000 jours-pièges et 0,11 indices/Km) et le Guib harnaché (avec 0,98 observations/1000 jours-pièges et 0,88 indices/Km).

Tableau 1. Fréquence de capture et indice kilométrique d'abondance des moyens mammifères observés sur les îles PK28 et Apollinaire

Ordre	Famille	Nom scientifique	Nom commun	Statut UICN (2021-1)	Ile Apollinaire		Ile PK28	
					FC (Obs/1000 N-P)	IKA (Indices/Km)	FC (Obs/1000 N-P)	IKA (Indices/Km)
Canivora	Felidae	<i>Panthera pardus</i>	Panthère ^G	VU	0	0,11	0,15	0,2
Canivora	Herpestidae	<i>Crossarchus obscurus</i>	Mangouste brune ^M	LC	0	0	0,3	0
Canivora	Herpestidae	<i>Atilax paludinosus</i>	Mangouste des marais ^M	LC	0	0	0,3	0,13
Canivora	Viverridae	<i>Civettictis civetta</i>	Civette d'Afrique ^G	LC	0,98	0,44	4,73	0
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Syncerus caffer nanus</i>	Buffle de forêt ^G	NT	0	0	8,39	1,4
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Philantomba maxwellii</i>	Céphalophe de maxwell ^M	LC	2,45	3,11	10,07	1,53
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Tragelaphus scriptus</i>	Guib harnaché ^G	LC	0,98	0,88	9,31	0,4
Pholidota	Manidae	<i>Phataginus tricuspis</i>	Pangolin Commun ^M	EN	0	0,11	0,15	0
Primates	Cercopithecidae	<i>Cercopithecus petaurista</i>	Péteuriste ^M	NT	0	0	0,61	0
Primates	Cercopithecidae	<i>Cercopithecus campbelli</i>	Cercopithèque de Campbell ^M	NT	1,47	0,11	1,07	0
Rodentia	Cricetomyidae	<i>Cricetomys gambianus</i>	Rat géant de Gambie ^M	LC	0	0	1,07	0
Rodentia	Hystricidae	<i>Atherurus africanus</i>	Athérure africain ^M	LC	0	0	1,53	0
Rodentia	Sciuridae	<i>Xerus erythropus</i>	Ecureuil géant de Stanger ^M	LC	0	0,11	0,92	0

^G: espèce considérée grand mammifère dans cette étude; ^M espèce considérée moyen mammifère dans cette étude

3.3 ESPÈCES D'INTÉRÊT POUR LA CONSERVATION

Parmi les 13 espèces observées sur les deux îles, cinq sont dites à "statut particulier" sur la liste rouge de l'UICN. Il s'agit d'une espèce en danger (le pangolin commun), d'une espèce vulnérable (la panthère) et de trois espèces quasi-menacées (le cercopithèque de Campbell, le péteuriste et le buffle de forêt).

3.4 DIVERSITÉ COMPARÉE DE L'ÎLE APOLLINAIRE ET DE L'ÎLE PK28

Pour la richesse spécifique, nous constatons que sur les 13 espèces observées, sept sont communs aux deux îles et six n'ont été rencontrés que sur l'île PK28.

L'analyse de l'indice de diversité de Shannon montre que l'île PK28 ($H' = 1,32$) est plus diversifiée que l'île Apollinaire ($H' = 0,61$). Pour ce qui est de l'équitabilité, nous constatons également que l'île PK28 ($J = 0,60$) est plus équilibré que l'île Apollinaire ($J = 0,44$).

3.5 PRESSIONS ANTHROPIQUES

L'analyse des pressions anthropiques exercées sur l'ensemble des deux îles nous permet de constater que l'île Apollinaire renferme 59,68% des indices d'agression, alors que l'île PK28 ne renferme que 40,32% (Figure 2A). Il en résulte que l'île Apollinaire est généralement plus soumise aux pressions anthropiques que l'île PK28.

Quand nous analysons les différentes catégories de pressions sur chaque île, il ressort que les activités liées à la pêche sont les plus importantes. Elles représentent 53,22% de l'ensemble des activités illégales recensées sur les deux îles, dont 35,48% sur l'île Apollinaire et 17,74% sur l'île PK28. En second lieu, nous avons les activités liées au braconnage qui représentent 24,19% des activités illégales, dont 11,29% sur l'île Apollinaire et 12,90% sur l'île PK28. Les activités les moins fréquemment rencontrées sur les deux îles est celles relatives aux prélèvements de bois qui représentent 4,84% des activités illégales (Figure 2B).

4 DISCUSSION

Cette étude présente, pour la première fois, la diversité de la faune mammalienne des îles PK 28 et Apollinaire situées dans le nord du PNT et les facteurs de pression qui pèsent sur ces deux îles.

Pour la diversité, cette étude a permis de confirmer la présence de 13 espèces de mammifères sur ces deux îles. Ces espèces ont toutes été déjà identifiées dans le reste du PNT. Le suivi écologique réalisé au PNT pendant plus d'une décennie indique la présence de 35 espèces de moyens et grands mammifères [12]. La différence de diversité spécifique observée pourrait s'expliquer d'une part, par la superficie plus importante de la zone couverte par le suivi écologique, par rapport aux deux îles (120 ha); et d'autre part par la durée limitée de notre étude (un mois de collecte de données) qui ne nous aurait pas permis de recenser plus d'espèces. Selon [25], le temps consacré à un inventaire faunique peut influencer de manière non négligeable les résultats, à terme. En outre, nos résultats indiquent qu'il existe, une différence de diversité de mammifères entre les deux îles étudiées, sept espèces ont été observées sur l'île Apollinaire contre 13 espèces de mammifères observées sur l'île PK28. Les espèces les moins observées, lors de la présente étude, sont la Panthère (*Panthera pardus*) et le Pangolin commun (*Phataginus tricuspis*). Tandis que les espèces les plus observées sont respectivement, le Céphalophe de maxwell (*Philotomba maxwellii*) et le Guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*). La prédominance de ces deux espèces dans nos milieux d'étude pourrait attester d'une anthropisation avancée de ces habitats. En effet, ces deux espèces sont reconnues comme étant des espèces susceptibles de vivre dans des milieux fortement anthropisés [26]; [27]. Particulièrement, le guib harnaché est une espèce anthropophile [27]. Ainsi, sa prédominance dans un milieu au détriment d'espèces plus sensibles, permet de renseigner sur l'anthropisation ce milieu.

La différence de diversité spécifique des mammifères sur les deux îles pourrait s'expliquer, par ailleurs, par l'importance relative des pressions anthropiques sur les îles étudiées. L'île Apollinaire renferme 59,68% des indices d'agression anthropique rencontrés sur les deux îles. Pourtant, les pressions anthropiques, notamment le braconnage, ont été identifiées comme des prédictors majeurs de la présence de certaines espèces au PNT, à savoir l'éléphant de forêt [28], de l'hippopotame nain [29], du chimpanzé [30], des céphalophes [31] et des singes à queue [31].

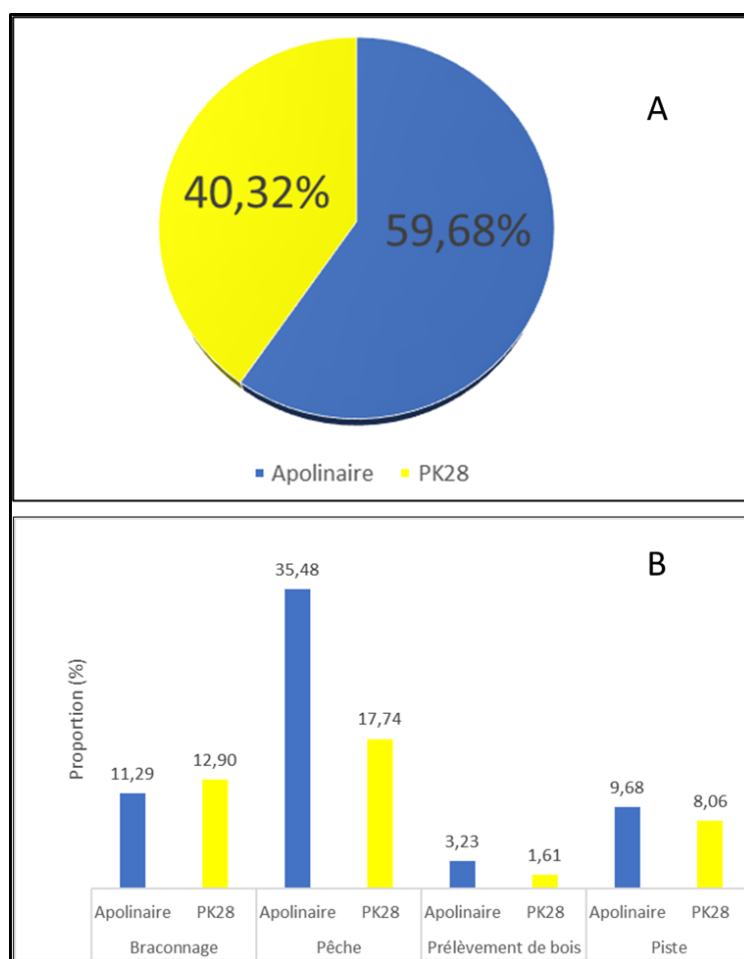


Fig. 2. Répartition des activités illégales rencontrées sur les îles Apollinaire et PK28

Pour la valeur de conservation, nos travaux ont permis de confirmer la présence de cinq espèces dites à "statut particulier", sur la liste rouge de l'UICN, version 2021-1. Il s'agit d'une espèce en danger, d'une espèce vulnérable et de trois espèces quasi-menacées. Les espèces à "statut particulier" représentent environ 40% des espèces observées sur les deux îles. Ainsi, ces deux îles constituent avec l'ensemble du PNT, des sites privilégiés pour la conservation de la biodiversité, en général et de la faune, en particulier.

5 CONCLUSION

Nos travaux ont permis de confirmer la présence de 13 espèces de moyens et grands mammifères sur les îles Apollinaire et PK28. Les 13 espèces sont présentes à PK28, alors que seules sept sont présentes sur l'île Apollinaire. L'analyse des indices de diversité nous a permis de constater que l'île PK28 est plus diversifiée que l'île Apollinaire. Quant aux pressions anthropiques enregistrées sur les deux îles, il ressort que l'île Apollinaire est globalement plus soumise aux pressions humaines que l'île PK28. Les indices d'agression les plus fréquemment enregistrés sur les deux sont relatifs à la pêche. Parmi les espèces enregistrées sur les deux îles, cinq sont à "statut particulier" sur la liste rouge de l'UICN, d'où l'importance de ces deux îles pour la conservation de la biodiversité animale au PNT. Cette étude révèle la nécessité de la prise en compte des îles, en général et en particulier, des îles Apollinaires et PK28, dans les programmes de suivi écologique et de surveillance.

REMERCIEMENTS

Cette section non numérotée est utilisée pour identifier les personnes qui ont aidé les auteurs dans l'accomplissement du travail présenté et de reconnaître les sources de financement. Nous tenons à remercier le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable de la Côte d'Ivoire et l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR), pour avoir autorisé la réalisation de ce travail. Nous remercions également, l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour l'encadrement administratif dont nous avons bénéficié.

Nous sommes redevables à tous les agents de l'OIPR et auxiliaires villageois qui ont été d'une aide capitale dans la réussite de la collecte des données. Nous remercions particulièrement le Capitaine Assié D. Roy Hartman Chef du Secteur ADK/V6 et le Commandant Tiedoué Manouhin Roland, Responsable du Service Suivi Ecologique et Systèmes d'Information Géographique de la Direction de Zone Sud-Ouest de l'OIPR.

REFERENCES

- [1] K. E. Stoner, P. Riba-Hernandez, K. Vulinec et J. E. Lambert, «The Role of Mammals in Creating and Modifying Seedshadows in Tropical Forests and Some Possible Consequences of Their Elimination, » *Biotropica*, vol. 39, n° 13, p. 316–327, 2007.
- [2] S. Blake, S. L. Deem, E. Mossimbo, F. Maisels et P. Walsh, «Forest elephants: tree planters of the Congo,» *Biotropica*, vol. 41, p. 459 – 468, 2009.
- [3] S. Ahmadi, S. Maman, R. Zoumenou et A. Massougbedji, «Hunting, Sale, and Consumption of Bushmeat Killed by Lead-Based Ammunition in Benin, » *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, n° 1140, p. 1-12, 2018.
- [4] M. Wegmann, L. Santini, B. Leutner, K. Safi, D. B. M. Rocchini, H. Latifi, S. Dech et C. Rondinini, «Role of African protected areas in maintaining connectivity for large mammals, » *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 369: vol. 369, p. 20130193, 2014.
- [5] D. Craigie, J. E. Baillie, A. Balmford, C. Carbone, C. Carbone, R. E. Green et J. M. Hutton, «Large mammal population declines in Africa's protected areas, » *Biological Conservation*, vol. 143, p. 2221–2228, 2010.
- [6] J.-L. Kouakou, S. Gonedélé Bi, E. A. Bitty, C. Kouakou, A. K. Yao, K. B. Kassé et S. Ouattara, «Ivory Coast without ivory: Massive extinction of African forest elephants in Côte d'Ivoire, » *PLoS ONE*, vol. 15, n° 10, p. e0232993, 2020.
- [7] G. Campbell, H. Kuehl, K. P. N'Goran et C. Boesch, «Alarming decline alarming chimpanzees in Côte d'Ivoire, » *Current Biology*, pp. R903-R904, 2009.
- [8] E. A. Bitty, B. Kadio, J.-C. K. Bene et P. K. Kouassi Bushmeat survey an indicator of wildlife disappearance in Soubre region, Côte d'Ivoire, » *Livestock Research for Rural Development*, vol. 26, n° 13, p. 1-7, 2014.
- [9] IUCN, «The IUCN red list of threatened species, » 2020.
- [10] F. Lauginie, «Conservation de la nature et aires protégées en Côte d'Ivoire, Abidjan: NEI/Hachette et Afrique Nature, p. 668, 2007.
- [11] K. Y. Koffi, «Gestion des aires protégées en Côte d'Ivoire: analyse de la réforme législative de 2002 relative aux parcs nationaux et réserves naturelles, » *Revue de Géographie tropicale et d'Environnement*, vol. 1, p. 73-85, 2010.
- [12] R. Tiedoué, «Etat de conservation du Parc national de Taï: Résultats du suivi écologique, Phase 11. OIPR -DZSO. Taï/Côte d'Ivoire, » *Rapport publié*, 43 p, 2016.
- [13] E. Riezebos, A. Vooren et J. Guillaumet, «Le Parc National de Taï, Côte d'Ivoire. I. synthèse de connaissance. II. References, » Wageningen, Fondation Tropenbos, Pays-bas, 323 p, 1994.
- [14] J. Collinet, B. Monteny et B. Pouyaud, - le milieu physique. 35-58. In «Recherche et aménagement en milieu forestier tropical humide. Projet Taï en Côte d'Ivoire, ». Notes Techniques MAB-Unesco, 15. Eds. Guillaumet, J.L., Couturier, G. et Dosso, H, 1984.
- [15] J. Avenard, M. Eldin, G. Girard, J., P. Toucheboeuf, J. Guillaumet et A. Perraud, «Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, » *Mémoire ORSTOM*. Vol 13, n°50, 391 p, 1971.
- [16] B. Bousquet, «Un parc de forêt dense en Afrique. Le parc national de Taï (Côte d'Ivoire), » *Bois et forêts des tropiques*, vol. 179, pp. 27- 46, 1978.
- [17] L. White et A. Edwards, «Conservation Research in the African Rain Forests: A Technical Handbook, » *Wildlife Conservation Society*, New York. 444 p, 2000.
- [18] F. O'Connell, J. D. Nichols et K. U. Karanth, «Camera Traps in Animal in animal ecology. Methods and Analyses., Springer, pp.271, 2011.
- [19] D. Hedwig, I. Kienast, M. Bonnet, B. K. Curran, A. Courage, C. Boesch, H. S. Kuhl et T. King, «A camera trap assessment of the forest mammal community within the transitional savannah-forest mosaic of the Batéké Plateau National Park, Gabon, » *African Journal of Ecology*, vol. 56, p. 777–790, 2018.
- [20] J. Kingdon, «The Kingdon field guide to African mammals, ». UK: Bloomsbury Publishing. London, 640 p, 2015.
- [21] S. G. A. Nago, I. Amahowe, O. Zannou, L. Houessou, F. Ahononga, P. N'Séra, M. Kouton, F. Kidjo, S. Sahilou, B. Sinsin, «Diversité, abondance et densité des populations de faune dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari (Nord Bénin), » *Annales de l'université de Parakou Série, Sciences Naturelles et Agronomie*, vol.6, n°1, p.10-25, 2016.
- [22] F.J. Carlos, Q. Heidi, P. Víctor & M. J.T. Derek, «Camera trap survey of medium and large mammals in a montane rainforest of northern Peru, » *Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM, Revue Peru biological*, vol. 17 n°2, p.191-196, 2010.
- [23] E. Magurran, «Measuring Biological diversity, ». Oxford, UK: Blackwell publishing, pp.256, 2004..
- [24] H. Tuomisto, «A consistent terminology for quantifying species diversity? Yes, it does exist, ». *Oecologia*. vol.164, p.853-860, 2010.

- [25] B. Akpatou, K. H. Bohoussou, B. Kadio et V. Nicolas, «Terrestrial small mammal diversity and abundance in Taï National Park, Côte d'Ivoire, ». *Nature Conservation Research*, vol 3, n°2, p. 66-75, 2018.
- [26] B. Hoppe-Dominik, H. S. Kühl, G. Radl, et F. Fischer, «Long-term monitoring of large rainforest mammals in the biosphere reserve of Taï National Park, Côte d'Ivoire. *African Journal of ecology*, » vol 49, n°4, p.450-458, 2001.
- [27] L. Mathot, F. Ikoli et B.R. Missilou, «Rapport annuel de monitoring de la faune du Projet Lésio-Louna, » Congo, 33 p, 2006.
- [28] R. M. Kely, C.Y.Kouakou, J-C. K. Béné, M. R. Tiedoué, A. Diarrasouba, A. Tondossama, Hjalmar S. Kuehl et Matthias Waltert, «Research and tourism both affect positively the occupancy pattern of *Loxodonta cyclotis* (Elephantidae) in Taï national Park, southwest Côte d'Ivoire, » *Nature Conservation Research*, vol 6, n°1, 2021.
- [29] K.P. N'Goran, C. Boesch, R. Mundry, E.K. N'Goran, I. Herbinger, A.F. Yapi et H.S. Kühl, «Hunting, law enforcement, and African primates conservation, ». *Conservation Biology*, vol. 26, n°3, p.565-571, 2012.
- [30] E. B. Bogui, A. D. Koffi, I. Koné, K. Ouattara, Y.C. Kouakou et A. Gnanbo, «Distribution of Pygmy hippopotamus (*Choeropsis liberiensis*) in Taï National Park, Ivory Coast: Influences of natural and anthropogenic factors, » *International Journal of Research in Biosciences*, vol. 5, n°4, p. 27–35, 2016;.
- [31] S. Köndgen, H. Kühl, P. K. N'Goran, P. D. Walsh, S. Schenk, N. Ernst, R. Briek, P. Formenty, K. Mätz-Rensing, B. Schweiger, S. Junglen, Ellerbrok H., Nitsche A., Briesse T., W. I. Lipkin, G. Pauli, C. Boesch et F. H. Leendertz, «Pandemic human viruses cause decline of endangered great apes, » *Current Biology*, vol. 18, n°4, 260-264, 2008.
- [32] Diarrasouba, A. Gnanbo, Y. C. Kouakou, G. Campbell, M. R. Tiedoué, A. Tondossama, H. S. Kühl, I. Koné, «Differential response of seven duiker species to human activities in Taï National Park, Côte d'Ivoire, » *African Journal of Ecology* vol. 58, p. 58 – 68, 2020.

Stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi

[The strategies of student's success in the second cycle in the faculties of psychology and sciences at the University of Lubumbashi]

Benjamin Makashi Bope

Sciences de l'Education, Université de Lubumbashi, Institut Supérieur d'Etudes Sociales, Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2021 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 university has a main mission to form the future elites of the country or the world. To reach it, the different faculties and departments. At the end of the academic year or the academic term, it also organizes the tests in all courses for evaluating the students who are going to pass in the next level. To succeed in these examinations, the students develop the strategies which will bring them to the success.

This article is a contribution to the efficiency of high teaching and academic, which form the future elites world. The success of this academic formation requires strategies from students and teachers.

KEYWORDS: Strategy, learning, learner, success and academic.

RESUME: L'université a une mission principale de former les futurs cadres du pays ou du monde. Pour y parvenir, elle organise les cours dans les différentes Facultés, Départements et Filières; à la fin de l'année académique, elle organise les Examens dans tous les cours pour évaluer le niveau des étudiants qui pourront passer à une promotion montante.

Pour réussir à ces épreuves, les étudiants développent les stratégies qui aideront à bien préparer les Examens qu'organisent l'Université. Ce présent article est une contribution à l'efficacité de l'enseignement Supérieure et Universitaire, lequel est appelé à former les futurs cadres du monde. La réussite de cette formation Universitaire exige des stratégies de la part des étudiants et des enseignants.

MOTS-CLEFS: Stratégie, Apprentissage, Apprenant, Réussite, Académique.

1 INTRODUCTION

Nous avons choisi d'étudier sur « les stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi » parce que depuis que nous nous sommes inscrits à l'Université et précisément à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education, nous avons constaté que plusieurs étudiants ne parviennent pas à réussir à la fin d'année académique et d'autres passent sans difficultés des promotions.

Pour faire face aux échecs que subissent certains étudiants à la fin d'année académique, nous nous sommes intéressés aux étudiants du deuxième cycle pour savoir les stratégies qu'ils appliquent pour réussir à la fin d'année académique. Ainsi, nous estimons que les résultats de notre étude intéresseront tous les étudiants de l'Université en général, et en particulier ceux de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education qui ont les problèmes des échecs académiques.

Grâce à notre travail, les étudiants seront informés sur les stratégies de réussite qu'ils peuvent appliquer pour leur réussite ou pour faire face aux échecs qu'ils sont victimes à l'Université. Ils pourront ainsi prendre des mesures préventives, afin de bien évoluer durant leur parcours académique. Nous ne sommes pas le premier à effectuer une étude scientifique sur les stratégies d'apprentissage. Plusieurs chercheurs l'ont fait. C'est pourquoi il est important pour nous de passer en revue les différents travaux présentés par nos prédécesseurs en rapport avec notre sujet.

MUKUZA TALANGANDU Polydore (2014), a mené une étude sur « les stratégies d'encadrement pédagogique des enseignants dans les écoles secondaires du quartier Kassapa à travers les différentes formations. Il insistait sur le fait que le développement professionnel est à associer à l'actualisation du savoir de l'enseignant. Dans son étude, l'auteur a fait recours à la méthode d'enquête et toujours dans le cadre de son étude, il avait utilisé comme techniques le questionnaire, l'échantillonnage aléatoire stratifié pondéré proportionnel et analyse de contenu. Sa population était constituée des tous les enseignants des écoles secondaires du quartier Kassapa. Ce quartier compte 176 enseignants du secondaire.

Il a abouti aux résultats suivants: les visites des classes, les réunions pédagogiques, les réunions de formations dans le cadre de cernafor, les visites d'encadrement et séminaires de formation faites partis des stratégies d'encadrement pédagogiques des enseignants dans les écoles secondaires. KAKWEJI NUMBI Gracia (2014) a mené une étude sur « les stratégies d'encadrement des enfants abandonnés du centre Magone » son étude poursuivait les objectifs suivants: identifier et expliquer les stratégies d'encadrement des enfants abandonnés du centre Magone et évaluer l'efficacité de leur encadrement pour dégager les faibles et proposer des solutions.

Pour atteindre ses objectifs et vérifier l'hypothèse, elle a fait recours à la méthode d'observation; l'entretien et analyse documentaire comme techniques de recherche. Sa population était constituée de 119 sujets et son échantillon était de 49 sujets. Elle a aboutie aux résultats suivants: le centre Magone applique les stratégies qui aident à bien intégrer les enfants abandonnés dans leur vie active, il adapte ses enseignements au niveau des élèves et rend son enseignement facile pour qu'à la fin de la formation l'élève soit capable de s'en sortir dans son domaine d'encadrement.

Les auteurs cités ci-haut ont abordés chacun dans son domaine le problème des stratégies. En effet, MUKUZA a abordé les stratégies d'encadrement pédagogique des enseignants dans les écoles secondaires. KAKWEJI, quant à elle, a traité les stratégies d'encadrement des enfants abandonnés. En ce qui nous concerne, nous essayons de cerner l'importance des stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle pour améliorer le rendement académique des étudiants qui obtiennent les échecs à la fin d'année académique.

Dans le cadre de la formation complète de l'enfant à l'Université nous tenons à préciser que ce qui compte pour l'étudiant, ce ne sont pas les nombres des jours qu'il passe à l'Université, mais plutôt le temps favorable, au cours duquel il profite des enseignements utiles dans son milieu en particulier, et au pays en général. La réussite académique est un principe qui relève de la compétence à l'Université chez l'enseignant et chez l'étudiant. Ce principe pédagogique veut tout simplement dire que chaque minute que l'étudiant passe à l'Université doit être profitable aussi bien pour lui que pour sa collectivité dans son ensemble.

Dans les considérations pédagogiques, la réussite académique dépend des parents, des enseignants, et des étudiants eux-mêmes. Ceci traduit l'interaction ou la collaboration entre la famille, l'Université et l'étudiant. Ainsi, nous pouvons dire que les facteurs qui peuvent intervenir dans la réussite académique d'étudiant peuvent être inhérents à l'individu ou, au contraire résulte de condition extérieure, les deux types des facteurs pouvant agir simultanément.

Parmi les facteurs du premier type, on trouve les processus mentaux et les réactions affectives. Parmi les seconds, les conditions psychopédagogiques déterminent la vie sociale de l'étudiant. Bien que ces distinctions soient nécessaires, il convient de n'ai pas oublié que leurs effets sont en interaction. L'Université de Lubumbashi organise les études en trois cycles. Le premier comprend trois années d'études et conduit au Diplôme de Graduat. Ce pendant les Facultés des Sciences, Polytechnique, Sciences Agronomiques, l'Ecole de Criminologie et Ecole Supérieure des Ingénieurs Industriels sont arrimées au système Licence-Master-Doctorat (LMD).

Le deuxième cycle comporte deux années d'études et donne accès au Diplôme de Licence ou Ingénieur. Toutefois, la Faculté de Médecine Vétérinaire et des Sciences Pharmaceutiques, le deuxième cycle est de trois années et aboutit au Diplôme de Docteur en Médecine Vétérinaire ou de Pharmacien. A la Faculté de Médecine Humaine, le deuxième cycle est de quatre années dont la quatrième année est constituée de 18 mois de stage et aboutit au Diplôme de Docteur en Médecine.

Au niveau du troisième cycle, le candidat suit d'abord le programme arrêté pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures (D.E.S) ou Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A). Ce programme dure trois années et comprend des cours et séminaires, une composante scientifique et une composante pédagogique ainsi que la présentation d'un mémoire. Après avoir obtenu son Diplôme d'Etudes Supérieures ou Diplôme d'Etudes Approfondies, le candidat peut présenter sa thèse de Doctorat.

Le troisième cycle est couronné par le Diplôme de Docteur. Sa durée varie généralement entre cinq et sept ans. A la Faculté de Médecine Vétérinaire et de Médecine Humaine, le Diplôme qui sanctionne le troisième cycle est celui d'Agrégé de l'Enseignement Supérieur en Médecine Vétérinaire ou en Médecine Humaine (CHABU MUMBA, p21). A la fin de chaque année académique, l'Université organise les épreuves de contrôle pour vérifier si l'étudiant est capable de passer une promotion à une autre; pour faire face aux épreuves qui sanctionnent la réussite académique, les étudiants du deuxième cycle suite aux expériences acquissent ils développent les stratégies de réussite pour faire face à ces épreuves.

Face à ces expériences que développent les étudiants de deuxième cycle de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education aux épreuves de contrôle, nous nous sommes posé la question suivante: quelles sont les stratégies que les étudiants du deuxième cycle mettent sur pied pour la réussite académique ? A titre hypothétique, nous pensons que, les stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi seraient:

- La révision des cours chaque jour en synthétisant les matières;
- La participation à tous les travaux (travaux pratiques, travaux dirigés, interrogations et les examens);
- L'acquisition de l'esprit de synthèse de notes de cours;
- La participation aux groupes d'études;
- L'assistance aux cours activement.

Toute recherche scientifique se fait toujours en fonction des objectifs à atteindre; faute de quoi, le chercheur abordera plusieurs problèmes à la fois et d'une manière confuse. Nous avons assigné à cette étude l'objectif suivant: détecter les stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi.

Toute étude, pour atteindre le niveau et la rigueur scientifique requise doit user des méthodes et techniques adéquates. Celles-ci dépendent non seulement de l'objectif visé mais aussi des données du terrain d'investigation. Ainsi, pour notre travail, nous avons utilisé la méthode d'enquête qui a été appuyée de questionnaire, l'analyse documentaire et l'entretien comme techniques de collecte des données.

Tout fait social repose sur deux pieds qui sont le temps et l'espace. C'est à ce titre que Georges GURVITCH estime que: « les lois de l'histoire sont empiriques, on ne peut les étudier au-delà du temps et du cadre physique où elles se sont manifestées à moins qu'elles ne jaillissent de la nature humaine et ne continuent à s'appliquer dans les circonstances nouvelles » (G. GURVITCH. 20^{ème} siècle, p378).

Nous précisons temporellement que, la présente étude couvre la période allant de l'année académique 2019-2020. La délimitation spatiale permet au chercheur de circonscrire le terrain de recherche. Ce qui, du reste lui permet de mieux analyser les éléments de son investigation. C'est ainsi que nous avons choisi comme champs d'investigation: la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi. Par ailleurs notre étude s'inscrit dans le domaine de la Pédagogie Scolaire.

Il est vrai qu'un terme peut révéler plusieurs sens et avoir plusieurs interprétations selon le contexte dans lequel il est placé. Ainsi, dans le souci de dissiper de mal entendu, nous définissons les mots clés utilisés dans ce travail. Il faudrait donc comprendre dans le contexte de notre travail, le sens que nous donnons aux termes qui suivent:

1.1 STRATÉGIE DE RÉUSSITE

Selon le Dictionnaire Universel (1979, p419), la stratégie, c'est l'art d'organiser et de coordonner un ensemble d'opération pour parvenir à un but. Pour Gestion MIALARET (1979, p414), la stratégie n'est rien autre que la science ou l'art de combiner et de coordonner des actions en vue d'atteindre un but. Elle correspond à une planification pour parvenir à un résultat avec proposition d'objectif à atteindre et moyen envisagé pour y parvenir. Quant à nous, la stratégie est la manière de procéder pour avoir un bon résultat aux épreuves académique.

1.2 STRATÉGIES D'APPRENTISSAGE

Selon Boulet et al. (1956) cité par J.L. Wolf (1998, p23); « les stratégies d'apprentissage sont définies comme étant les activités effectuées par l'apprenant afin de faciliter l'acquisition, l'entreposage, le rappel et l'application de connaissances au moment de l'apprentissage. Donc essentiellement, les stratégies d'apprentissage sont des comportements de l'apprenant qui est en train d'apprendre, et, elles ont pour objet d'influencer la façon dont il va le faire ».

La définition de LEGENDRE (1993), cité par J.L. Wolf (1998, p23) met l'accent sur l'idée de planification, pour cet auteur, il s'agit d'un « ensemble d'opérations et de ressources planifiées par le sujet dans le but de favoriser au mieux l'atteinte d'objectifs dans une situation pédagogique ».

Boulet, Savoie-Zajé et Chevrien (1996, p13), proposent une définition plus précise de stratégies d'apprentissage. Il s'agit pour eux des « activités effectuées par l'apprenant afin de faciliter l'acquisition, l'entreposage, le rappel et l'application de connaissances au moment de l'apprentissage ». ces activités visent donc à organiser, à orienter, bref à gérer le traitement de l'information. Ainsi, l'apprenant confrontés à une liste de caractéristiques à apprendre, met en œuvre des activités pour la stabiliser en mémoire à long terme, il se la répète mentalement un certain nombre de fois, il la transforme en arbre, il y établit des catégories, etc. Bref, il se définit des règles d'action pour gérer au mieux l'appropriation progressive des informations. Les stratégies sont donc les manières d'apprendre de l'apprenant, ses façons d'organiser ses processus mentaux.

Ainsi définies, les stratégies présentent les caractéristiques suivantes: d'abord, les stratégies sont des activités dans lesquelles l'apprenant s'engage de manière consciente. Elles sont, au minimum, accessibles à la conscience, explicites. Elles peuvent être l'objet de verbalisations. Ensuite, elles sont par définition, orientées vers un but. Les stratégies ne sont pas accidentelles, l'apprenant les met en œuvre pour atteindre un but, un objectif défini en termes de processus, de résultat ou de performance. Enfin, une stratégie est plus une séquence d'actions qu'un événement isolé. La notion de stratégies suppose que l'apprenant mette en œuvre une suite ordonnée d'action.

1.3 LA RÉUSSITE ACADÉMIQUE ET ÉCHEC ACADÉMIQUE

La réussite académique est un succès, un résultat heureux ou favorable au terme d'un programme scolaire, d'un cycle d'études, d'une évaluation, d'une épreuve. Elle est, dans un système scolaire, une note ou un résultat égal ou supérieur à la moyenne entant que norme établie pour juger du succès d'un apprenant. Pour Bouteyere (2000), cité par A. KAPEND SABUL (2011), lui pense que la réussite scolaire évoque avant tout une conformité à une norme.

C'est pourquoi les définitions de la réussite scolaire font référence à ce qui est normalement attendu d'un apprenant pour pouvoir le déclarer en situation de réussite. L'échec scolaire est une situation où un objectif n'a pas été atteint, une situation d'apprenant dont les résultats ne satisfont pas aux normes de l'Université. L'échec scolaire ou académique est donc une situation dans laquelle l'apprenant constate son insuccès et cesse de répondre aux exigences scolaires d'apprentissage, pour être éventuellement sanctionné par le système, soit en échouant aux examens, soit en redoublant l'année scolaire, soit en décrochant.

1.4 LA REPRÉSENTATION SOCIALE DE LA RÉUSSITE ET DE L'ÉCHEC SCOLAIRE

Une représentation sociale se définit comme une de connaissance socialement élaborée et partagée ayant une visée pratique et concourante à la construction d'une réalité commune à un ensemble social (Jodelet) cité par J. KUSINZA BADESIRE dans son travail de fin de cycle 2015. Comme beaucoup d'institutions, l'Université est l'objet de représentations sociales diverses véhiculées par les acteurs qui participent à cette « microsociété » tels que les parents, les enseignants et les politiciens.

Ces acteurs participent à la représentation de la réussite scolaire souvent définie à partir du concept d'intelligence tandis que l'échec scolaire est souvent vécu comme résultant de difficultés liées à des causes internes (faible quotient intellectuel, comportements inadaptés, déficit intellectuel...). Néanmoins, les représentations ne sont pas figées et dépendent tant des pratiques éducatives que de théories qui fleurissent et qui font l'hypothèse que l'enfant doit être placé autour des apprentissages comme acteur de son propre développement.

Bernard RIVIERE, dans les jeunes et les représentations sociales de la réussite, spécifie que « la réussite scolaire correspond à la notion dite traditionnelle de performance exprimée par les résultats obtenus et l'ordre d'enseignement atteint ». la représentation sociale de la réussite scolaire peut sembler alors limitée à la simple obtention des notes jugées bonnes. La réussite scolaire est liée à des valeurs traditionnelles orientées vers l'excellence et la performance.

Cependant, il y a sans doute des parallèles à faire entre la réussite scolaire et la réussite personnelle avec un côté l'idée selon laquelle la réussite scolaire (au sens du rendement scolaire) est le préalable de la réussite personnelle mais de l'autre côté, l'hypothèse que la réussite scolaire est une réussite personnelle. Par opposition à la réussite scolaire, l'échec peut être perçu comme une défaillance en termes de résultats scolaires. S'en suit logiquement un sentiment d'incapacité acquise du fait l'attribution de l'échec à des causes endogènes à titre exemplatif, le sentiment d'avoir l'intelligence lente, des troubles du comportement ou encore une démotivation intrinsèque.

La réalité construite autour de la représentation de réussite et de l'échec peut avoir une forme coercitive pour l'apprenant si l'Université se limite à un rôle de juge en tranchant ce qu'elle considère être de la réussite et ce qu'elle considère d'être de l'échec (Perrenoud). Cependant, la réussite et l'échec la responsabilité partagée des acteurs qui créent ces représentations.

1.5 L'UNIVERSITÉ

Par souci de la clarté, on propose les définitions selon les auteurs de l'Université enrichies de ses principales missions traditionnelles et nouvelles ainsi que les rôles et fonctions que l'on s'accorde à connaître à l'Université. L'Université est l'ensemble d'établissements scolaire relevant de l'enseignement regroupés dans une circonscription administrative, (Petit LA ROUSSE, 1995, p. 1046).

Selon ALAIN TOURAINE, (1972, p. 30), l'Université est donc une institution privée ou publique qui organise des enseignements en vue de répondre aux besoins de développement d'une communauté donnée. L'Université est une maison ou industrie de formation qui transforme l'individu de façon pratique et qui prépare de manière directe à la vie professionnelle visant certains objectifs à atteindre.

1.5.1 LES MISSIONS DE L'UNIVERSITÉ

Selon ALFONSO BORRE ROCABAL (1995, pp. 27-28), l'Université a comme mission:

- Promouvoir la recherche et la culture avec un accent particulier sur la valeur, si non sur la pratique, de la recherche pure ou de la recherche stimulée par la curiosité intellectuelle, plus encore que sur la recherche appliquée ou les contrats de recherche qui représentent d'une part croissante de l'activité des Universités;
- Contribuer à répondre aux besoins en main-d'œuvre exprimés par une société de la connaissance; en raison des progrès des connaissances utiles à la pratique professionnelle, l'Université est tenue de garantir une formation complète et de répondre aux attentes des personnes engagées dans la pratique active par des programmes de deuxième ou de troisième cycles, des cours de perfectionnement et des activités pré-universitaires sur les lieux du travail;
- Dispenser un enseignement et une formation spécialisée de haut niveau;
- Renforcer la compétitivité de l'économie et la production de la richesse, notamment par l'entremise des sciences de l'ingénieur et de l'enseignement technologique, en consolidant ainsi les liens entre l'Université et le monde de l'industrie et de l'entreprise;
- D'être exigeante, car malgré les tendances récentes pour donner un plus grand accès aux adultes, elle se doit de choisir les meilleurs candidats en fonction de leurs capacités intellectuelles;
- Servir de modèle pour la mise en œuvre de certaines politiques nationales, afin de favoriser l'égalité des chances, la transmission de la culture et exercice des principes qui inspirent de la cité.

MAZOUGUI ANTAR et al (2004, pp. 3-4) affirment que la restructuration des missions de l'Université est résultante immédiate de deux phénomènes essentiels:

- La massification de l'Université avec toutes les transformations qui en découlent: besoins financiers croissants, insuffisance des locaux, etc.
- L'évolution rapide du marché du travail; les profils qui exigent les offres d'emplois sont plus choisis conformément aux besoins futurs des entreprises dans les conditions de travail réelles et non stimulées. Par conséquent, une formation théorique basée sur le savoir au fil du temps devient obsolète.

1.6 L'ÉTUDIANT OU APPRENANT

P. ROBERT, (1984, p. 402), définit l'étudiant comme toute personne qui fait des études supérieures et suit les cours d'une Université, d'une grande école. Pour J. BERSANI et al, (1984, p. 402), un étudiant est un jeune travailleur, intellectuel qui a droit à une prévoyance sociale particulière dans les domaines intellectuel et moral. Il est un intellectuel qui a droit à la recherche de la vérité et de la liberté.

G. Mialaret, (1979, p. 201), définit l'apprenant comme étant un enfant ou un adolescent qui fréquente un établissement pour y être instruit (élève d'élémentaire, du secondaire, de l'enseignement supérieure et universitaire). Un étudiant est donc pour notre travail, celui qui suit des cours à l'Université. Celui-ci a une double mission: la formation et la recherche scientifique.

2 LES THEORIES EXPLICATIVES DES STRATEGIES D'APPRENTISSAGE

Selon B.B. Paulin, (2012, p. 38), les stratégies d'apprentissage scolaire dépendent, elles aussi, de plusieurs facteurs. Bien entendu, les possibilités de réussite, sentiments positifs couvrent les professeurs et la matière, bon choix de l'école, bon choix de la filière d'études ou option, bonne santé.

Lorsqu'il atteint ses plus hauts niveaux, l'engagement cognitif en milieu scolaire se traduit par un processus d'autorégulation. Autrement dit, l'apprenant utilise de son propre gré différents types de stratégies d'apprentissage pour tenter de réussir l'activité pédagogique qui lui est proposée. Les sources motivationnelles, le processus d'autorégulation et les stratégies d'apprentissage sont donc intimement liés (Zimmerman et Schunk, 2008).

2.1 LES STRATÉGIES COGNITIVES

Les stratégies cognitives sont des moyens aux quels les apprenants recourent pour acquérir, intégrer et se rappeler les connaissances qui leurs sont transmises. Dans un contexte scolaire, l'apprentissage porte généralement sur trois types des connaissances: déclaratives, conditionnelles et procédurales.

2.1.1 LES STRATÉGIES D'APPRENTISSAGES LIÉES AUX CONNAISSANCES DÉCLARATIVES

Les connaissances déclaratives correspondent à ce que les enseignants appellent les connaissances théoriques. Dans le cadre des cours de Français, la connaissance d'une règle de grammaire, la définition d'un déterminant, d'un adverbe ou d'une préposition sont des exemples de connaissances déclaratives. Pour les acquérir, les apprenants peuvent recourir à des stratégies de répétition, d'élaboration ou d'organisation.

2.1.1.1 LES STRATÉGIES DE RÉPÉTITION

Ces stratégies sont dites de répétition, car les apprenants tentent d'apprendre par cœur des informations en les répétant constamment ou en utilisant des procédés mnémotechniques. Ecrire plusieurs fois une équation mathématique ou repasser maintes et maintes fois dans sa tête cette équation, sont des exemples de stratégies de répétition souvent adaptées par les apprenants.

L'apprentissage de certains contenus actuels justifie l'emploi de telles stratégies. Malheureusement, pour un certain nombre d'apprenants, en particulier ceux dont la motivation est faible, l'engagement cognitif résume à l'utilisation de stratégies de répétitions.

2.1.1.2 LES STRATÉGIES D'ÉLABORATION

Les apprenants adoptent ces stratégies lors qu'ils font des inférences entre différentes notions, et créent aussi dans leur mémoire de nouveaux réseaux d'informations. Ses stratégies d'élaboration consistent notamment à faire des résumés, à faire des paraphrases ou à prendre des notions personnelles.

2.1.1.3 LES STRATÉGIES ORGANISATION

Elles consistent à regrouper de différentes façons les informations à acquérir, de bien les comprendre et de s'en souvenir. Un enseignant peut organiser la matière pour les apprenants sans formes de tableaux ou de schémas, mais, il importe que l'apprenant structure la matière à sa façon, c'est-à-dire, en suivant lui-même les liens et les niveaux hiérarchiques.

Les recherches montrent que les stratégies d'élaboration et d'organisation donnent les résultats positifs sur l'apprentissage, ce qu'il n'a rien de surprenant: l'apprenant qui y recourt est en effet plus sûr sur le plan cognitif que s'il se contente d'utiliser des stratégies de répétition. Son engagement cognitif étant plus intense, ses apprentissages en sont inévitablement accrus.

2.1.2 LES STRATÉGIES D'APPRENTISSAGE LIÉES AUX CONNAISSANCES CONDITIONNELLES

Les connaissances conditionnelles permettent aux apprenants de reconnaître les particularités d'une situation problématique, et de déterminer quelles procédures utiliser pour résoudre, et quand le faire. De ce qui concerne l'apprentissage des mathématiques, par exemple quand ces connaissances qui permettent aux apprenants d'analyser le problème proposé par leur enseignant, de déterminer à quel norme ou loi, il se réfère, et les procédures à appliquer pour le produire.

Il est important d'amener les apprenants à acquérir ce type de connaissances. En effet, il ne suffit pas de posséder des connaissances théoriques pour être capable de les appliquer dans un contexte donné. En Français, par exemple, il n'est pas rare qu'un apprenant sache par cœur les règles d'accord d'un participe passé, de ne révèle néanmoins incapable de les appliquer des connaissances fonctionnelles s'acquièrent au moyen de stratégies de génération de discrimination.

2.1.3 LES STRATÉGIES DE GÉNÉRATIONS

Grâce à ces stratégies, « les apprenants élargissent le nombre de formation auxquelles s'applique une notion ou une procédure » Boulet et al, 1996, cités par Viau 2009, p. 53 trouver des exemples de ce que l'on apprend, est la stratégie de généralisation la plus dance il est donc important que l'enseignant encourage ses apprenants à découvrir par eux-mêmes dans quelles situations impliquent les notions enseignées, un enseignant peut demander à un apprenant de lui donner des exemples tirés de l'histoire du XX^{ème} siècle. Ces exemples peuvent ensuite être discutés, précisés et paralyés à d'autres à d'autres phénomènes illustrant le racisme.

2.1.4 LES STRATÉGIES DE DISCRIMINATION

Contrairement aux stratégies de généralisation, « les stratégies de discrimination consistent à déterminer les cas dans lesquels la notion enseignée ne s'applique pas » (Boulet et al. 1996 cités par R. Viau, 2009, p. 27). Pour distinguer les situations les unes aux autres, les apprenants de lui donner des faits historiques que des personnes de leur entourage associent à tort au racisme.

2.1.5 LES STRATÉGIES D'APPRENTISSAGE LIÉES AUX CONNAISSANCES PROCÉDURALES

Les connaissances procédurales aident les apprenants à agir, c'est-à-dire, à appliquer des procédures pour résoudre les situations problématiques qu'on leur soumet. Ces connaissances correspondent à ce que plusieurs enseignants appellent le savoir-faire. Toutes les étapes du processus de résolution de problème que l'on retrouve dans l'enseignement des sciences soit un exemple de connaissances procédurales. Pour acquérir ce type de connaissances, les apprenants font appel à des stratégies de compilation.

Les stratégies de compilation se traduisent par la pratique d'une procédure ou d'une tâche complexe. En biologie, par exemple, un apprenant utilise des stratégies de compilation lors qu'il exécute une à une, les procédures de dissection qui lui ont été apprises. Ces procédures voudront des automatismes s'il les exécute un grand nombre de fois. Les procédures relatives à la conduite automobile constituent le plus bel exemple d'automatismes dans la vie courante. En peu de temps, toutes ces procédures qui sont stressantes à exécuter au début sont compilées, et deviennent rapidement des automatismes auxquels, nous ne pensons même plus.

2.2 LES STRATÉGIES MÉTACOGNITIVES

La métacognitive correspond à la connaissance ainsi qu'au rôle qu'une personne a sur elle-même, ses stratégies cognitives et sur ses apprentissages (J. TARDIF, 1992, cité par R. Viau, 2009). Les apprenants exercent ce contrôle au moyen de trois stratégies métacognitives: la planification, l'ajustement (monitoring) et auto-évaluation. La planification consiste pour les apprenants à prendre du seuil par rapport à une activité qu'on leur demande de faire en jugeant de son ampleur, en se fixant des objectifs de travail, et, en choisissant les stratégies cognitives qui leur permettent de l'accomplir adéquatement.

Lors de la réalisation de l'activité, les apprenants recourent à l'ajustement pour évaluer constamment l'efficacité des stratégies cognitives qu'ils adoptent afin de les ajuster au besoin. En fin, ils utilisent l'auto-évaluation pour évaluer eux-mêmes les résultats finaux de leur apprentissage. Soulignes que les apprenants ont tendance à escamoter cette dernière stratégie. En effet, ils s'empressent souvent d'aller voir l'enseignant pour obtenir une appréciation de leur travail, nous avoir pris le temps d'évaluer sa qualité.

Pour mieux illustrer les stratégies métacognitives que nous venons de présenter, prenons l'exemple d'un bon apprenant motivé au quel on propose de corriger un texte contenant différents types d'erreurs: après avoir compris les consignes de son professeur et avoir aussi les exigences du travail à effectuer, l'apprenant se dit que la meilleur façon d'accomplir cette activité consiste à lire le texte connaître le contenu et corriger en même temps les erreurs les plus ressenties, puis dans un deuxième temps, le relire phrase par phrase pour repérer les autres erreurs éventuelles et les corriger.

Lors de l'accomplissement de la tâche, il sent le besoin de s'ajuster il constate en effet que certaines erreurs lui échappent, il cesse alors d'accomplir de tâche, et, tente de découvrir la cause de ce problème. Prenant conscience de son manque d'attention, il abandonne la stratégie qu'il veut adoptée au départ, et, en choisit une autre: relire un texte en confiant un seul type d'erreurs à la fois (par exemple, l'accord des mots lors de la première lecture l'orthographe des mots lors de la deuxième, la ponctuation lors de la troisième, etc.). avant de remettre son texte corrigé à l'enseignant, il prend le temps de procéder à une auto-évaluation, ce qui lui permet de conclure qu'il a sûrement éliminé la majeure partie des fautes d'orthographe courantes, mais qu'il est moins sûr d'avoir qui pour qu'il lui propose une démarche structurée qui l'aidera à progresser sur ce point.

2.2.1 LES STRATÉGIES DE GESTION DU CONTEXTE DE L'APPRENTISSAGE

Les stratégies de gestion de l'apprentissage ont trait à l'organisation du travail. Les apprenants motivés y recourent pour améliorer les conditions dans lesquelles se déroule la réalisation d'une activité. C'est ce type de stratégies qu'ils utilisent, par exemple, pour rendre leur travail d'équipe efficace. Ainsi, s'ils en ont la possibilité, ils se diviseront entre eux les tâches à accomplir, se donneront un horaire et choisiront le lieu de travail le plus approprié à la concentration. De plus, ces stratégies les amèneront à choisir des ressources humaines et matérielles qui leur faciliteront la tâche. Par exemple, pour réaliser un projet, ils s'entoureront de camarades qui sont aussi motivés qu'eux, consulteront de la documentation en bibliothèque et iront sur internet pour en savoir davantage sur le thème abordé dans leur projet.

2.3 LES STRATÉGIES AFFECTIVES

Les stratégies affectives sont celles que les apprenants emploient pour contrôler leurs émotions et créer un climat psychologique propice à l'apprentissage (Boulet et al. 1996; Weinstein et Mayer, 1986). Certaines stratégies comme les techniques de relation (par exemple prendre de grandes respirations avant le début d'un examen) facilitent le contrôle de l'anxiété. D'autres visent à éliminer les distractions et à maintenir la concentration. Cependant, stratégies qui doivent sur tout retenir notre attention sont celles qui encouragent les apprenants de se prendre en charge sur le plan motivationnel.

Les stratégies d'auto-motivation sont celles que les apprenants choisissent et adoptent pour augmenter ou conserver leur motivation lors qu'ils accomplissent une activité. Ils peuvent décider de se fixer des objectifs à court terme pour pouvoir évaluer plus vite le chemin parcouru, se convaincre de l'importance de ce qui font, imaginer le résultat final, se fixer leurs propres défis, etc.

Il est important que les apprenants puissent se motiver eux-mêmes, car ils deviennent ainsi moins dépendants des stratégies que l'enseignant met en place dans la classe pour les motiver. Par exemple, un apprenant qui aime réaliser des projets peut être déçu que le professeur lui permette une récompense s'il réalise ses tâches dans les délais prévus. Si cet apprenant sait ce qui le motive, il pourra trouver lui-même des moyens efficaces pour se motiver.

En résumé, la classification des stratégies d'apprentissage que nous venons de présenter permet de cerner les principales stratégies que l'apprenant utilise pour apprendre lors que sa dynamique motivationnelle est positive. Notre champ d'investigation est la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi. Elle est située sur l'avenue Tshombe non loin de l'arrêt de bus dispensaire dans la commune de Lubumbashi, province du Haut-Katanga, ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo.

Dans l'orientation de notre travail, la population de recherche est l'ensemble d'individus humains ou non qui possède en commun un trait particulier ou groupe de traits particuliers. Cela étant la population de notre étude est constituée de 352 étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi.

Tableau 1. La population d'étude

PROMOTION	EFFECTIFS DES ETUDIANTS EN PSYCHOLOGIE	EFFECTIFS DES ETUDIANTS EN SCIENCES DE L'EDUCATION	TOTAL
Première Licence	102	48	150
Deuxième Licence	153	49	202
Total	255	97	352

A l'égard de ce tableau, nous constatons que notre population de recherche est de 102 étudiants en première Licence Psychologie, 153 étudiants en deuxième Licence Psychologie; ce qui fait 255 étudiants au département de Psychologie; 48 étudiants en première Licence Sciences de l'Education, 49 étudiants en deuxième Licence Sciences de l'Education; ce qui donne 97 étudiants au département de Sciences de l'Education, 150 étudiants en première Licence à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education, 202 étudiants en deuxième Licence à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education. Donc, notre population d'étude est constituée de 352 étudiants de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education du deuxième cycle.

La technique d'échantillonnage utilisée dans ce travail c'est l'échantillonnage par quotas ou l'échantillonnage aléatoire stratifié, c'est-à-dire, notre échantillon est constitué de deux départements, (Psychologie et Sciences de l'Education) où nous avons deux promotions du deuxième cycle dans chaque département. Pour extraire cet échantillon aléatoire stratifié pondéré proportionnel, nous avons fait recours à la formule statistique de calcul de coefficient de pondération donnée par KAMBULU NSHIBA, (2013).

Voici la formule: $ni = \frac{ni}{N} n$; retenons que: ni = effectif total extrait dans une catégorie; n =taille de l'échantillon que l'on veut obtenir; N = effectif réel d'une catégorie; N =taille de la population.

PREMIÈRE LICENCE

$$ni = ?; n=70; Ni=150; N=352: ni = \frac{150}{352} 70 = 29.83 = 30$$

DEUXIÈME LICENCE

$$ni = ?; n=70; Ni=202; N=352: ni = \frac{202}{352} 70 = 40.17 = 40$$

Ainsi, cette répartition, nous a permis d'avoir des résultats provenant des différents départements, promotions du deuxième cycle de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education. Pour cette étude nous allons utiliser l'échantillon de 70 étudiants du deuxième cycle

Tableau 2. Tableau d'échantillonnage

PROMOTIONS	EFFECTIFS D'ÉTUDIANTS
Première licence	30
Deuxième licence	40
Total	70

Il est ressort de ce tableau que 30 étudiants en première licence Psychologie et Sciences de l'Education, 40 étudiants en deuxième licence Psychologie et Sciences de l'Education. Ce qui donne la somme de 70 étudiants en deuxième cycle de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education qui constituent notre échantillon d'étude.

Notons ici que, le choix d'une méthode de recherche est fonction de la nature du problème d'étude, des objectifs poursuivis, de la réalité sur le champ d'investigation. Ainsi, pour notre travail nous avons fait recours à la méthode « d'enquête », comme nous l'avons signalé à la partie introductive. La méthode d'enquête est une façon pratique d'obtenir les informations sur l'opinion des gens, les enquêtes nous permettent de récolter les données sur le vécu, sentiments, pensées et motivations difficiles à observer directement, (ANNE MYERS et al. P. 136).

Ainsi dans le souci de nous départir des affirmations gratuites en interrogeant que les données du terrain, nous avons été amenés à faire usage des techniques d'entretien, le questionnaire et l'analyse documentaire. Au cours de ces investigations nous avons ainsi eu à recourir à l'entretien direct où nous avons échangé avec les sujets dans le souci d'atteindre notre objectif; le questionnaire nous a permis à interroger nos sujets pour en savoir plus sur notre sujet et l'analyse documentaire nous a permis d'avoir le nombre exacte des étudiants du deuxième cycle de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education. Dans notre travail nous avons utilisé le chi-carré pour le dépouillement des résultats.

Pour arriver aux résultats normaux et atteindre les objectifs fixés, il faut vérifier les stratégies de réussite des étudiants. A ce qui concerne le présent travail, nous avons voulu vérifier si ces facteurs sont à la base de la réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education telles que:

- La révision des cours chaque jour en synthétisant les matières;
- La participation à tous les travaux (travaux pratiques et dirigés, interrogations et examens);
- La participation aux groupes d'études;
- Assistance aux cours activement.

Partant de nos instruments de recherche, de notre temps, nous récoltions les données dans la Faculté pendant la pause et après cours. Nous terminons notre récolte des données par des remerciements à nos interlocuteurs; de nous avoir accordé le temps et nous permettre à arriver à la fin de nos investigations.

Comme dans toute recherche, les difficultés ne manquent pas; nous avons rencontré les difficultés: l'indiscipline de la part des étudiants et les autorités académiques pour nous accorder certains documents que nous avons besoin. Malgré toutes ces difficultés que nous avons rencontrées, nous sommes parvenus à récolter les informations fiables auprès des étudiants de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education.

Nous nous sommes entretenus autour d'un questionnaire qui est composé de six questions qui nous ont permis de vérifier si les stratégies suivantes: la révision des cours chaque jours; la participation à tous les travaux (travaux pratiques et dirigés, interrogations et examens); l'acquisition de l'esprit de synthèse de notes de cours; la participation aux groupes d'études; l'assistance aux cours activement favorisent la réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Lubumbashi.

Tableau 3. Avez-vous le temps de réviser au moins chaque jour vos notes de cours pour préparer votre réussite ?

- Ho: Il n'y a pas des différences significatives entre ces deux groupes d'étudiants;
- H1: Ilya des différences significatives entre les deux groupes d'étudiants;
- Seuil de signification: $\alpha.10$
- Choix du test: Test de chi-carré;
- Calcul
 - $fo = 37$ et 37
 - $fe = \frac{N}{K} = \frac{70}{2} = 35$ $fe = 35 > 5$ et donc, la formule générale

Reponses	fo	fe	$fo-fe$	$(fo-fe)^2$	$\frac{(fo - fe)^2}{fe}$
Oui	37	35	2	4	0,11428571449
Non	33	35	-2	4	0,11428571449
Total	70	70			$X^2 = 0,23$

dl=1

- Décision: $X^2_{Cal} = 0,23 > X^2_{10} = 2,71$, on rejete l'hypothese nulle;
- Conclusion: Non, Il n'y a pas le groupe dominant, le deux groupes sont égaux.

Tableau 4. Avez-vous l'habitude de résumer vos notes de cours pour bien étudié ?

- Ho: Il n'y a pas des différences significatives entre les étudiants qui ont l'habitude de résumer les notes de cours pour bien étudié et ceux qui n'ont pas cette habitude;
- H1: Ilya des différences significatives entre les deux groupes d'étudiants;
- Seuil de signification: $\alpha.10$
- Choix du test: Test de chi-carré;
- Calcul
 - $fo = 46$ et 24
 - $fe = \frac{N}{K} = \frac{70}{2} = 35$ $fe = 35 > 5$ et donc, la formule générale

Reponses	fo	fe	$fo-fe$	$(fo-fe)^2$	$\frac{(fo - fe)^2}{fe}$
Oui	46	35	11	121	3,45714285714
Non	24	35	-11	121	3,45714285714
Total	70	70			$X^2 = 6,92$

dl=1

- Décision: $X^2_{Cal} = 6,92 > X^2_{10} = 2,71$, on rejete l'hypothese nulle;
- Conclusion: Oui, Il y a le groupe dominant entre le deux groupes d'étudiants du deuxième cycle.

Tableau 5. *Prenez-vous en considération tous les travaux qu'on vous donne par les enseignants (Travaux Pratiques et Dirigés, Interrogations et Examens) ?*

- Ho: Il n'y a pas des différences significatives entre ces deux groupes d'étudiants;
- H1: Ilya des différences significatives entre les deux groupes d'étudiants;
- Seuil de signification: $\alpha.10$
- Choix du test: Test de chi-carré;
- Calcul
 - $fo = 57$ et 13
 - $fe = \frac{N}{K} = \frac{70}{2} = 35$ $fe = 35 > 5$ et donc, la formule générale

Reponses	fo	fe	$fo-fe$	$(fo-fe)^2$	$\frac{(fo-fe)^2}{fe}$
Oui	57	35	22	484	13,8285714285
Non	13	35	-22	484	13,8285714285
Total	70	70			$X^2 = 27,66$

dl=1

- Décision: $X^2_{Cal} = 27,66 > X^2.10 = 2,71$, on rejete l'hypothese nulle;
- Conclusion: Oui, Il y a le groupe dominant entre les deux groupes d'étudiants du deuxième cycle.

Tableau 6. *Vous arrive-t-il de participer aux Travaux de groupes d'études pour la discussion des cours avec les condisciples ?*

- Ho: Il n'y a pas des différences significatives entre les étudiants qui participent aux travaux des groupes d'études pour la discussion des cours avec les condisciples et ceux qui ne participent pas;
- H1: Ilya des différences significatives entre les deux groupes d'étudiants;
- Seuil de signification: $\alpha.10$
- Choix du test: Test de chi-carré;
- Calcul
 - $fo = 51$ et 19
 - $fe = \frac{N}{K} = \frac{70}{2} = 35$ $fe = 35 > 5$ et donc, la formule générale

Reponses	fo	fe	$fo-fe$	$(fo-fe)^2$	$\frac{(fo-fe)^2}{fe}$
Oui	51	35	16	256	7,31428571429
Non	19	35	-16	256	7,31428571429
Total	70	70			$X^2 = 14,63$

dl=1

- Décision: $X^2_{Cal} = 14,63 > X^2.10 = 2,71$, on rejete l'hypothese nulle;
- Conclusion: Oui, Il y a des différences significatives entre ces deux groupes d'étudiants.

Tableau 7. Trouvez-vous de l'importance d'assister activement aux cours?

- Ho: Il n'y a pas des différences significatives entre ces deux groupes d'étudiants;
- H1: Ilya des différences significatives entre les deux groupes d'étudiants;
- Seuil de signification: $\alpha=0.10$
- Choix du test: Test de chi-carré;
- Calcul
 - $f_o = 56$ et 14
 - $f_e = \frac{N}{K} = \frac{70}{2} = 35$ $f_e = 35 > 5$ et donc, la formule générale

Reponses	f_o	f_e	$f_o - f_e$	$(f_o - f_e)^2$	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
Oui	56	35	21	441	12,6
Non	14	35	-21	441	12,6
Total	70	70			$X^2 = 25,2$

$df=1$

- Décision: $X^2_{Cal}=25,2 > X^2_{10} = 2,71$, on rejete l'hypothese nulle;
- Conclusion: Oui, Il y a des différences significatives entre ces deux groupes d'étudiants.

Tableau 8. Que faire pour réussir à l'Université?

FACTEURS DE LA REUSSITE A L'UNIVERSITE
Prendre les cours au sérieux
Réviser les cours chaque jour
Prendre en compte tous les travaux
Payer les frais Académiques
Etre régulier aux cours
Participer aux groupes d'études
Avoir les notes des cours
Faire des recherches
Aimer les enseignants

Ce tableau reprend les facteurs de la réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Lubumbashi. Plusieurs études ont été faites sur les stratégies d'apprentissage des apprenants, à l'instar de celles qui nous a précédés dans l'étude de ce genre des stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Lubumbashi. Notons ainsi que, nous avons décelé les stratégies que les étudiants du deuxième cycle appliquent pour leur réussite académique.

Nous servant d'un questionnaire; nous avons collecté les données avant et pendant la pause qui nous a pris une semaine que nous avons examinés avec le calcul du chi-carré. Les résultats peuvent être interprétés de cette manière. Les résultats trouvés en rapport avec la révision de cours chaque jours par les étudiants du deuxième cycle pour préparer la réussite; à ce sujet, retenons que, partant de calcul du chi-carré, nous trouvons qu'entre les étudiants qui révisent au moins chaque jour les notes de cours pour préparer leur réussite et ceux qui n'ont pas le temps de réviser au moins chaque jour les notes de cours il n'y a pas des significatives.

De ce qui précède, il revient à démontrer que la révision de notes de cours chaque jour n'est pas conditionné totalement à la réussite à la fin d'année académique cela dépend d'un étudiant à l'autre; parce qu'il y a certains étudiants qui révisent au moins chaque jour les notes de cours et d'autres n'ont pas le temps de réviser mais tous parviennent à réussir à la fin d'année académique. Selon certains pédagogues, Roger Cousinet et Gaston MIALARET (1979) disent à ce sujet que l'étude est avant tout un travail mental, un effort de pensée, une application intense et systématique sur un objet apte à servir.

D'après de Buck, l'étude suppose toujours une certaine intransigeance à l'égard de soi-même chez ce lui qui étudie, intransigeance qui le maintien sur sa tâche, et qui, en la plupart des cas, dépasse son effort d'intelligence. Les données relatives à la synthèse des

notes de cours par les étudiants pour bien étudier; le calcul du chi-carré révèle qu'il y a des différences significatives entre les étudiants qui ont l'habitude de synthétiser leurs notes de cours pour bien étudier et ceux qui n'ont pas cette habitude.

En regard de tout ce qui précède, il se révèle que le fait de résumer les notes de cours pour bien étudier fait partie d'une stratégie de réussite des étudiants du deuxième cycle à la fin d'année académique. Quant à la considération des travaux (travaux pratiques et dirigés, les interrogations et les examens) donnés par les enseignants; a ce sujet, le chi-carré révèle qu'il y a des différences significatives entre les étudiants qui prennent en considération tous les travaux qu'on leur donne par les enseignants et ceux qui ne prennent pas en considération les travaux qu'on leur donne par les enseignants.

Le chi-carré nous amène à dire que la considération de tous les travaux donnés par les enseignants fait partie d'une stratégie de réussite que les étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi utilisent pour réussir à la fin d'année académique. Partant de données relatives à la participation aux groupes d'études; le chi-carré montre qu'il y a des différences significatives entre les étudiants qui participent aux groupes d'études avec les condisciples et ceux qui ne participent pas. Ce qui nous amène à dire que la participation aux travaux de groupes d'études avec les condisciples fait partie d'une stratégie de réussite appliquée par les étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi.

Pour renforcer notre paragraphe, les stratégies de gestion de l'apprentissage qui ont trait à l'organisation du travail. Les apprenants motivés y recourent pour améliorer les conditions dans lesquelles se déroule la réalisation d'une activité. C'est ce type de stratégies qu'ils utilisent, par exemple, pour rendre leur travail d'équipe efficace. Ainsi, s'ils en ont la possibilité, ils se diviseront entre eux les tâches à accomplir; se donneront un horaire et choisiront le lieu de travail le plus approprié à la concentration. De plus, ces stratégies les amèneront à choisir des ressources humaines et matérielles qui leur faciliteront la tâche. Par exemple, pour réaliser un projet, ils s'entoureront de camarades qui sont aussi motivés qu'eux, consulteront de la documentation en bibliothèque et iront dans l'Internet pour en savoir davantage sur le thème abordé dans leur projet (les stratégies d'apprentissage, Alexander et Graham 2008).

A propos de l'assistance activement aux cours; le test chi-carré nous confirme à ce sujet qu'il y a des différences significatives entre les étudiants qui trouvent de l'importance d'assister activement et ceux qui ne trouvent pas de l'importance à ce sujet; ce qui signifie que l'assistance activement aux cours est une stratégie de réussite qu'applique les étudiants du deuxième cycle de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi.

Nous renforçons notre idée avec l'engagement cognitif des stratégies d'apprentissage. Cet engagement implique que les apprenants n'aient pas seulement l'intention de s'investir dans une activité pédagogique, mais également qu'ils passent à l'action. Les apprenants qui sont animés d'une dynamique motivationnelle positive iront donc au-delà de l'intention de travailler: ils le feront en s'engageant dans l'activité pédagogique proposée. A l'opposé, les apprenants ayant une dynamique motivationnelle négative ne s'engageront pas dans l'activité et auront plutôt tendance à l'éviter. Mais comment parviennent-ils à éviter de s'engager dans des activités, puisqu'en contexte scolaire elles sont pour la plupart du temps imposées et coordonnées par l'enseignant.

La fréquentation scolaire minimise les actions accomplies, magnifie les actions à venir, il transporte l'avenir dans le présent et vous, grâce à lui, vous vous réjouissez déjà de ce qui sera. Dans le cadre de l'étude, avoir fréquenté régulièrement l'Université, et s'interdire d'être pessimiste, négatif, apathique, indifférent, insipide, etc. c'est refuser d'être le prophète de son propre malheur; et s'engager librement dans ses activités scolaires (cours, lectures, études, discussions, travaux pratiques...) avec un optimisme qui jaillit de l'intérieur et qui pousse à se dire « si les autres ont réussi avant moi, pourquoi pas moi ? Et s'il n'y a qu'une réussite, ce sera la mienne » (KUSINZABA DESIRE Juvénal, dans son travail de fin de cycle, 2015).

Les données relatives à la réussite à l'Université; le n° 8 nous fournit les résultats suivants: les facteurs de la réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi sont: prendre les cours au sérieux; réviser les cours chaque jour; prendre en compte tous les travaux; payer les frais académiques; être régulier au cours; participer aux groupes d'études; avoir les notes de cours; faire des recherches et aimer les enseignants.

De ce fait nous confirmons que tous les facteurs de réussite précités si haut fait partie des stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle de fin d'année académique à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Université de Lubumbashi.

3 CONCLUSION

Après avoir parcouru un très long voyage, nous voici arrivé au terme de notre recherche. Notre étude a porté sur: « Stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi ». Notre grande préoccupation dans cette étude était celle de détecter les stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de l'Université de Lubumbashi.

Pour atteindre l'objectif poursuivi de notre recherche faite, nous avons fait recourir à la méthode d'enquête. Cette méthode nous a permis de descendre sur terrain voir la réalité; appuyée du questionnaire, l'analyse documentaire et entretien comme techniques qui nous ont aidées d'interroger le participant pour recueillir des informations nécessaires de notre préoccupation. De ce qui suit, pour faire l'analyse des données, nous avons utilisé le test de chi-carré.

Notre hypothèse de recherche était formulée de la manière suivante: nous pensons que, les stratégies de réussite des étudiants du deuxième cycle à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Lubumbashi seraient:

- La révision des cours chaque jour en synthétisant les matières;
- La participation à tous les travaux (travaux pratiques et dirigés, interrogations et examens);
- L'acquisition de l'esprit de synthèse de notes de cours;
- La participation aux groupes d'études;
- Assistance aux cours activement.

Après analyse et interprétation des résultats, nous sommes aboutis aux résultats selon lesquels que les stratégies de réussites des étudiants à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Lubumbashi se présentent comme suit: la révision des notes de cours; la synthèse des notes de cours pour bien étudier; la considération de tous les travaux (travaux pratiques et dirigés, interrogations et examens) qu'on donne par les enseignants; la participation aux travaux de groupes d'études; l'assistance activement aux cours; le paiement des frais académiques; avoir les notes de cours au complet; faire des recherches (à la bibliothèque et à l'internet); aimer les enseignants.

De ce qui précède, notre hypothèse est confirmée parce que la plupart des étudiants du deuxième cycle utilisent les stratégies précitées pour leur réussite de fin d'année académique (confer les tableaux de calcul du chi-carré se trouvant dans le travail). Au regard des résultats trouvés, nous suggérons ce qui suit:

- Les autorités académiques doivent demander aux Ministres de l'Enseignant Primaire; Secondaire et Professionnel d'introduire le cours intitulé Stratégies de réussite au niveau de sixième des humanités et celui de l'Enseignement Supérieur et Universitaire d'organiser les séminaires sur les stratégies de réussite à l'Université au niveau de premier graduat;
- Les parents doivent payer les frais académiques de leurs enfants pour que ces derniers se donnent pour la réussite à la fin d'année académique;
- Les étudiants doivent prendre tous les cours au sérieux pour réussir à la fin d'année académique.

REFERENCES

- [1] Chabu Mumba (2016): Guide d'étudiant, (2015-2016, p.21).
- [2] Gurvitch, G., Sociologie du XXe siècle, Tome 2, Paris, PUF.
- [3] Bapolisi Bahuga, P., Stratégies pour réussir à l'enseignement supérieur et universitaire, éd. du ceruki Bukavu, 2012.
- [4] Alain Touraine, Université et la société aux Etats-Unis, aux éditions du seuil, Paris 1972.
- [5] Alfonso Borro Rocabal, Université aujourd'hui, édition Unesco Paris CRDI/Unesco 1995.
- [6] J. Bersani et al., Encyclopédia Universali, Paris, éd. CORPUSIO 1988.
- [7] Mazougui Antar et Hamdi Salima, Partenarial Université entreprise: état des lieux et perspectives de renforcement 2004.
- [8] Dictionnaire universel (1979).
- [9] Petit la rousse, (1984).
- [10] Kapend Sabul Albert, Pratiques éducatives parentales, image de soi et performance scolaire chez les adolescents de la Ville de Kolwezi, Thèse de doctorat (FPSE/UNILU, 2011).
- [11] Kakweji Numbi Gracia, Stratégies d'encadrement des enfants abandonnées du centre Magone (FPSE/UNILU, 2014).
- [12] Kusinzaba Desire Juvénale, Stratégies de réussite des apprenants du complexe scolaire Hélène de Lubumbashi (FPSE/UNILU, 2015).
- [13] Mukuza Talangandu Polydore, Stratégies d'encadrement pédagogique des enseignements dans les écoles secondaires du quartier Kassapa à Lubumbashi (FPSE/UNILU, 2014).
- [14] Kambulu Shimba, Statistique inductive II, cours inédit, G3 Psychologie, FPSE/UNILU (2014).

Tendance des émissions anthropiques des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et de leurs substituts au Togo de 1995-2018

[Trend of anthropic emissions of ozone depleting substances (ODS) and their substitutes in Togo from 1995-2018]

Ayassou Koffi, Sabi Kokou, and Koriko Moursalou

Laboratoire de Chimie Atmosphérique, Faculté Des Sciences, Université de Lomé, B.P. 1515, Lomé, Togo

Copyright © 2021 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 a Party to the Montreal Protocol and the Kigali Amendment, Togo has made a commitment to phase out its Ozone Depleting Substances (ODS) and their substitutes according to well-defined timetables. The country therefore needs to inventory its emissions in order to determine the progress made. To support Togo in this process and contribute to the preservation of the ozone layer, this thesis study aims to analyze the status and trends of Togo's emissions in ODS and ODS substitutes for the time series 1995-2018. The methodology used is that recommended in the Montreal Protocol guidelines on data collection and analysis as well as on ODS estimates. Based on the parameters and emission rates obtained after a field survey, the calculated emissions are closer to the actual emissions. Thus, emissions of ODS and their substitutes in 2018 in Togo are respectively estimated at 121.631 Gg CO₂-e and 641.409 Gg CO₂-e. From 1995 to 2018, trends in CFC-11 and CFC-115 emissions experienced annual growth rates of -4.17% while the decline in CFC-12 emissions was around -4.13% and that HCFC-22 emissions were growing annually at a rate of 4.16%. As for the HFCs which were only introduced in 2013 in Togo, the trends in their emissions are estimated at nearly 31.4% compared to 1995. From these results, it appears that CFCs are completely replaced by HCFCs and HFCs whose emissions are increasing sharply. Togo will have to further strengthen surveillance of illicit imports of ODS at its borders and strengthen the capacity of refrigeration technicians who release significant F-gases into the atmosphere.

KEYWORDS: Ozone layer, Emission, Elimination, Substitutes, Atmosphere, Gas-F.

RESUME: Etant Partie prenante au Protocole de Montréal et à l'Amendement de Kigali, le Togo a pris l'engagement d'éliminer progressivement ses Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone (SAO) ainsi que leurs substituts suivant des calendriers bien définis. Le Pays a, de ce fait, besoin d'inventorier ses émissions afin de déterminer les progrès réalisés. Pour accompagner le Togo dans ce processus et contribuer à la préservation de la couche d'ozone, la présente étude de thèse s'est fixée pour objectif d'analyser le statut et les tendances des émissions du Togo en SAO et en substituts de SAO pour la série temporelle 1995-2018. La méthodologie utilisée est celle recommandées dans les lignes directrices du Protocole de Montréal sur la collecte et l'analyse des données ainsi que sur les estimations de SAO. Sur la base des paramètres et taux d'émission obtenus après enquête sur le terrain, les émissions calculées sont plus rapprochées des émissions réelles. Ainsi, les émissions de SAO et de leurs substituts en 2018 au Togo sont respectivement estimées à 121,631 Gg CO₂-e et à 641,409 Gg CO₂-e. De 1995 à 2018, les tendances des émissions de CFC-11 et de CFC-115 ont connu des taux d'accroissement annuel de -4,17% alors que la décroissance des émissions de CFC-12 enregistrait -4,13% et que les émissions de HCFC-22 croissaient annuellement avec un taux de 4,16%. Quant aux HFCs qui ne sont introduits qu'en 2013 au Togo, les tendances de leurs émissions sont estimées à près de 31,4 % par rapport à 1995. De ces résultats, il ressort que, les CFCs sont complètement substitués par des HCFCs et HFCs dont les émissions sont en forte augmentation. Le Togo devra encore renforcer la surveillance des importations illicites des SAO au niveau de ses frontières et renforcer la capacité des techniciens du froid qui relâchent d'important gaz- F dans l'atmosphère.

MOTS-CLEFS: Couche d'ozone, Emission, Elimination, Substituts, Atmosphère, Gaz-F.

1 INTRODUCTION

L'ozone stratosphérique joue un rôle essentiel dans le maintien de la vie sur la terre en filtrant les rayons Ultra-violet les plus énergétiques. L'exposition prolongée à ces rayons Ultra-violet ont des risques graves sur la santé causant des érythèmes actiniques, la photo-toxicité, la diminution de la défense immunitaire, le vieillissement cutané, des cancers de la peau, la kératoconjonctivite, la cataracte et affectant également la biodiversité notamment les cultures et l'écosystème marin. Grâce à l'ozone règne un gradient positif de température dans la stratosphère permettant sa stratification. Cette propriété conduit à une stabilité de la stratosphère vis-à-vis des échanges verticaux. Ainsi l'ozone joue un rôle important sur l'équilibre de l'atmosphère et participe au processus d'équilibrage radiatif entre l'hémisphère Nord et Sud.

En 1985, des chercheurs britanniques ont détecté une diminution significative de la colonne intégrée d'ozone d'environ 50% à partir des mesures du spectromètre Dobson à la station anglaise de Halley Bay (79°S) en Antarctique par rapport aux valeurs observées dans les années 1960. Ce travail suggérait que les produits industriels, les chlorofluorocarbures (CFCs), étaient la cause principale de cette diminution. L'hypothèse d'une réduction de l'ozone par l'impact des CFCs a été émise pour la première fois en 1974 par Molina et Rowland qui recevront le prix Nobel de chimie en 1995. Les CFCs autrement appelés Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone (SAO) ont été utilisés dans beaucoup de secteur, notamment la réfrigération, la climatisation, le gonflement de mousse, le nettoyage de composants électroniques, et enfin comme solvants.

Pour lutter contre la destruction de la couche d'ozone, la communauté internationale a mis en place la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone adoptée le 22 mars 1985 sous l'égide des Nations Unies dont le Protocole de Montréal sur les SAO signé le 16 septembre 1987 et entré en vigueur en 1989. Ce Protocole vise la réduction progressive de la production et l'utilisation des SAO ainsi que leurs rejets dans l'atmosphère afin de ramener la couche d'ozone vers ses niveaux de référence de 1980. Pour ce faire, une première gamme de substituts a été proposée à savoir les HydroChloroFluoroCarbures (HCFCs) qui contiennent un atome d'hydrogène diminuant ainsi leur durée de vie dans l'atmosphère et une deuxième gamme de substituts à savoir les Hydrofluorocarbures (HFCs). En résolvant le problème de la destruction de la couche d'ozone, il s'avère que les HFCs sont de puissants Gaz à Effet de Serre (GES) conduisant en plus à l'amendement de Kigali en octobre 2016 afin d'éliminer progressivement leur production et consommation.

Le Togo en s'inscrivant dans cette lutte mondiale pour la préservation de la couche d'ozone et du climat a signé et ratifié le 25 février 1991 la Convention de Vienne et le Protocole de Montréal. Il est donc tenu, à l'instar des Parties, de réduire de plus de 80 % au cours des 30 prochaines années sa consommation en SAO. Pour ce faire, le Togo a mis en place des plans et des mécanismes pour contrôler l'importation et l'utilisation des SAO et leurs substituts. Mais il se pose aujourd'hui la grande question de comptabilisation des émissions de SAO et leurs substituts au Togo afin d'estimer une tendance réaliste d'émission de SAO. Pour répondre à cette question, la présente étude s'est fixée pour objectif l'évaluation du niveau d'engagement pris par le Togo pour l'élimination des SAO dans le cadre du Protocole de Montréal et l'évaluation de sa contribution au réchauffement global relativement à l'utilisation des substituts de SAO.

2 METHODOLOGIE

La revue documentaire et les enquêtes de terrain ont permis de collecter des données quantitatives et qualitatives (types d'équipement, contenances en gaz, pratiques) disponibles au Togo. Sur la base des recommandations fournies dans les documents PNUE sur la gestion des SAO, les calculs ont été effectués.

2.1 COLLECTE DES DONNEES D'ACTIVITE

Les enquêtes menées dans la ville de Lomé ont permis de repérer les sociétés importatrices des Gaz réfrigérants. Des fiches d'enquête confectionnées ont servi de collecte de données. Le choix de la ville de Lomé s'explique par sa représentativité du fait de son niveau de vie très élevé par rapport aux autres localités et du fait qu'elle cumule ces sociétés importatrices.

Les données d'activités collectées, suite à des séances d'entretien avec les techniciens de froid et le BNO sont recoupées et traitées et les données d'activités portant spécifiquement sur les CFC, HCFC et leurs substituts sont déduites de la relation:

$$\textbf{Consommation} = \textbf{Production} + \textbf{Importation} - \textbf{Exportation}$$

Du moment où le Togo ne produit ni n'exporte pas de gaz-F, la relation se résume à:

$$\textbf{Consommation} = \textbf{Importation}$$

Les substituts de SAO étant des mélanges azéotropiques de divers gaz à des proportions variables contrairement aux autres gaz-F, leurs données de consommation ont été désagrégées en suivant la formule:

$$Q_{HFC} = Q_{Gaz-F} \times P$$

Q_{HFC} = Quantité de HFC présente dans le gaz-F en tonne métrique

Q_{Gaz-F} = Quantité de gaz-F en tonne métrique

P = Proportion de HFC présent dans ce gaz-F

2.2 COLLECTE DES PARAMETRES ET FACTEURS D'EMISSION

Aux paramètres et facteurs d'émission par défaut disponibles sont appliqués des facteurs de correction afin de ramener les estimations plus proches de la réalité de terrain et donc fournir des émissions réelles et non potentielles. Ces facteurs de corrections sont issus des travaux de terrain basés sur un échantillon de taille de 15 patrons d'ateliers de réparation des équipements de froid choisis sur la base de l'expérience professionnelle et de l'ancienneté (au moins 5 ans) afin de garantir une fiabilité aux données. La taille de l'échantillon est obtenue par la formule:

$$\text{Taille échantillon} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

Les informations renseignées portent sur les taux de fuite annuelle de fonctionnement et de maintenance; la fréquence annuelle de Maintenance et la durée de vie moyenne des appareils; l'état des appareils en recharge; et les taux de gaz restant et récupérés à la fin du cycle de vie de chaque type d'équipement.

Avec une marge d'erreur $e = 25\%$, N estimée à 200 selon les responsables de l'Association des Frigoristes du Togo (AFRITO), le niveau de confiance p est de 95 % avec une cote z égale à 1,96. Les données recueillies sont celles du Tableau 1 et traitées sont fournies dans le Tableau 2.

Tableau 1. Paramètres et facteurs collectés

			T1	T2	F	D	N_{mn}	T3	T4	T5
Réfrigérateur	Résidentiel	IF	4,8	0	2	5	800	0,00025	75	0
Réfrigérateur	Commerce et service	IF	4,88	0	4	5	1200	0,0001	75	0
Climatiseur	Résidentiel	IF	1,8	4	2	5	1600	0,000125	25	35
Climatiseur	Commerce et service	IF	1,82	2	8	5	1200	0,00015	3	7
Climatiseur	Automobile	IM	4	8	2	5	0	0	0	0
Congélateur	Résidentiel	IF	4,79	0	2	5	1400	0,00015	75	0
Congélateur	Commerce et service	IF	4,82	0	3	5	1200	0,00015	75	0
Froid industriel			-	-	-	-	-	-	-	-

Avec:

IF=Installation fixe

IM=Installation Mobile

TF = Taux de fuite annuelle en fonctionnement (%)

T2 = Taux de fuite annuelle lors de la maintenance (%)

T3 = Taux de fuite lors de la charge de nouveaux appareils

T4 = Taux de gaz restant

T5 = Taux de gaz récupéré (%)

F = Fréquence annuelle de maintenance

D = Durée de vie (An)

N_{mn} = Nombre moyen d'appareils nouveaux chargés annuellement

Tableau 2. Paramètres de calcul de l'estimation des émissions

	Installation fixe (IF)	Installation mobile (IM)
Taux de fuite moyenne annuelle (%)	8	20
Taux moyen de récupération (%)	21	0
Taux moyen de gaz restant (%)	55	0
Durée de vie (ans)	5	5

Le taux moyen de fuite annuelle pour chaque catégorie d'installation est obtenu par la formule suivante:

$$TF = \frac{\sum_{i=1}^n tf_{fi} + \sum_{i=1}^n tf_{mi} \cdot F_i + \sum_{i=1}^n N \cdot tf_{ci}}{\sum_{i=1}^n i}$$

TF = taux de fuite annuelle dans une catégorie d'installation

i = Type d'équipement

n = Nombre total de type d'équipements dans la catégorie d'installation

tf_f = Taux de fuite annuelle de l'équipement i en fonctionnement

tf_{mi} = Taux de fuite annuelle de l'équipement i lors de la maintenance

tf_{ci} = Taux de fuite lors de la charge du nouvel équipement i

F_i = Fréquence de maintenance de l'équipement i

N = Nombre de nouvel équipement i chargé

Le taux de récupération est obtenu par la formule suivante:

$$t_r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{\sum_{i=1}^n i}$$

t_r = Taux moyen de récupération à la fin du cycle de vie d'un équipement dans la catégorie d'installation

i = Type d'équipement

r_i = Taux de récupération du Gaz dans l'équipement de type i

2.3 METHODE D'ESTIMATION DES EMISSIONS DE SAO

Le principe de la méthode de calcul adopté est selon lequel les émissions des gaz-F sont des émissions retardées et se passent progressivement au fur des années lors du fonctionnement de l'équipement jusqu'en fin du cycle de vie de l'équipement contenant ce gaz-F. Les émissions proviennent de la quantité de Gaz-F en banque et ont lieu également à la fin du cycle de vie de l'équipement.

$$Q_{i_{\text{gaz-F en banques}}} = (1 - t_f)^i \cdot Q_{0_{\text{gaz-F}}}$$

L'émission est donnée par

$$E_i = Q_{(i-1)_{\text{gaz-F en banques}}} - Q_{i_{\text{gaz-F en banques}}}$$

L'émission en fin du cycle de vie est donnée par

$$E_{i_f} = (1 - r) \cdot Q_{i_{\text{gaz-F en banques}}}$$

$Q_{0_{\text{gaz-F}}}$ = Quantité de Gaz-F en banque initialement

$Q_{i_{\text{gaz-F en banques}}}$ = Quantité de gaz-F en banque dans l'année

E_{i_f} = Emission en fin de cycle de vie correspondant à l'année i

t_f = Taux de fuite annuelle lors du fonctionnement de l'équipement y compris taux de fuite lors de la maintenance

r = Taux de gaz-F récupéré à la fin du cycle de vie de l'équipement

L'émission totale dans une année est égale à la somme des émissions provenant des gaz-F en banque et de l'émission à la fin du cycle de vie si elle correspond à cette année.

Les contributions des émissions ont été calculées:

- En termes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone, par la formule pour les gaz-F qui sont des SAO:

$$A_i = E_i \times \text{PAO}$$

- En termes de potentiel de réchauffement de la planète, par la formule pour les substituts et des SAO qui ont un PRG:

$$R_i = E_i \times \text{PRG}$$

A_i = Appauvrissement de la couche d'ozone par l'émission dans l'année i

R_i = Réchauffement de la planète par l'émission dans l'année i

PAO = Potentiel d'Appauvrissement de la couche d'ozone qui est une valeur qui indique le degré de nocivité d'un composé chimique sur la couche d'ozone. Il est calculé par rapport à une molécule de référence à savoir le CFC-11 dont le PAO est égal à 1.

PRG = Potentiel de réchauffement Global qui est une valeur indiquant le degré de l'action d'un composé chimique sur l'effet de serre qui est un phénomène naturel. Il est calculé par rapport à la molécule de CO₂ dont le PRG égal à 1 pour 100 ans.

Les valeurs des PRG utilisées sont celles du Cinquième Rapport d'Evaluation (5AR) du GIEC 2013 tandis que pour les PAO sont celles contenues dans le Protocole de Montréal après les différents ajustements et amendements. Le tableau 3 montre les valeurs des PRG et PAO utilisées.

Tableau 3. Valeurs de PRG et de PAO

Gaz-F	PRG à 100 ans	PAO à 100 ans
CFC-11	4660	1
CFC-12	10200	1
CFC-115	7670	0,6
HCFC-12	1760	0,055
HFC-32	677	0
HFC-125	3500	0
HFC-134a	1300	0
HFC-143a	4800	0

3 RESULTATS

3.1 RESULTATS DE COLLECTE DES DONNEES

Les résultats de la collecte des données d'activité en tonne métrique portent sur les SAO (Tableau 4) et leurs substituts (HFCs) (Tableau 5).

Tableau 4. Quantité annuelle de SAO consommé par le Togo de 1995-2018

SAO	R11 (CFC-11)	R12 (CFC-12) [29,26RSAC + 70,37MAC]		R115 (CFC-115)	R22 (HCFC-22)
Applications	IF	IM	IF	IF	IF
1995	0,100	35,625	14,735	0,240	0,000
1996	0,090	24,052	9,948	0,250	0,000
1997	0,100	24,717	10,223	0,270	70,020
1998	0,060	25,976	10,744	0,010	69,750
1999	0,000	29,357	12,143	0,340	64,270
2000	0,050	26,457	10,943	0,110	58,500
2001	0,040	23,931	9,899	1,510	75,000
2002	0,030	24,893	10,297	0,150	73,150
2003	0,020	23,839	9,861	0,020	73,150
2004	0,010	18,499	7,651	0,340	67,220
2005	0,000	13,129	5,431	0,400	56,280
2006	0,000	7,046	2,914	0,200	47,960
2007	0,000	3,459	1,431	0,120	89,710
2008	0,000	2,235	0,925	0,450	112,250
2009	0,000	0,714	0,296	0,000	350,000
2010	0,000	0,990	0,410	0,000	375,170
2011	0,000	0,799	0,331	0,000	348,000
2012	0,000	0,644	0,266	0,000	360,000
2013	0,000	0,523	0,217	0,000	345,000
2014	0,000	0,424	0,176	0,000	325,000
2015	0,000	0,340	0,140	0,000	302,000
2016	0,000	0,276	0,114	0,000	280,000
2017	0,000	0,219	0,091	0,000	272,000
2018	0,000	0,177	0,073	0,000	258,000

Tableau 5. Quantité annuelle des substituts aux SAO consommés par le Togo de 1995-2018

HFC	HFC-134a [29,26RSAC + 70,37MAC]		R-410a (HFC-32/HFC-125) [50/50]		R-407c (HFC-32/HFC-125/HFC-134a) [23/25/52]			R-404a (HFC-125/HFC-143a/HFC-134a) [44/52/4]		
Composition	HFC-134a	HFC-134a	HFC-32	HFC-125	HFC-32	HFC-125	HFC-134a	HFC-125	HFC-134a	HFC-143
Applications	IF	IM	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF
1995	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1998	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2013	87,112	206,888	137,000	137,000	53,820	58,500	121,680	103,840	94,400	122,720
2014	114,964	273,036	195,500	195,500	46,460	50,500	105,040	102,080	92,800	120,640
2015	79,705	189,295	135,000	135,000	35,880	39,000	81,120	75,240	68,400	88,920
2016	128,891	306,110	180,000	180,000	60,950	66,250	137,800	116,600	106,000	137,800
2017	28,149	66,852	40,000	40,000	16,100	17,500	36,400	26,400	24,000	31,200
2018	153,483	364,517	239,500	239,500	64,400	70,000	145,600	168,960	153,600	199,680

Ces données d'activités et paramètres d'émission ont permis d'estimer les émissions des SAO et de leurs substituts présentées dans les paragraphes suivants.

3.2 RESULTATS D'ESTIMATION DES EMISSIONS

L'année 2018, la plus récente de la série temporelle, a été choisie pour l'analyse des résultats d'estimation des émissions car elle est la plus fournie en données, par conséquent reflète au mieux la situation économique du Togo.

Les résultats d'émission des gaz-F pour l'année 2018 sont renseignés dans le Tableau 6.

Tableau 6. Emissions de chaque type de gaz pour l'année 2018 en termes de réchauffement de la planète

SAO & Substituts	Emissions (Gg CO ₂ -e)
CFC-12_IM	0,359
CFC-12_IF	0,312
HCFC-22_IF	124,397
CFC-11_IF	0,000
CFC-115_IF	0,000
HFC-32_410a_IF	25,466
HFC-32_407C_IF	7,943
HFC-125_410a_IF	131,654
HFC-125_404a_IF	91,542
HFC-125_407C_IF	44,634
HFC-134a_IF	26,766
HFC-134a_IM	80,194
HFC-134a_404a_IF	30,910
HFC-134a_407C_IF	31,632
HFC-143a_404a_IF	148,370

Le Tableau 7 montre les émissions des SAO et de leurs substituts en 2018.

Tableau 7. Emissions des SAO et des substituts en 2018 en termes de réchauffement de la planète

GAZ-F	SAO	SUBSTITUTS
Emission (Gg CO ₂ -e)	121,631	641,409

Les émissions en termes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone sont résumées dans le tableau 8.

Tableau 8. Contribution des SAO en termes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone en 2018

SAO	CFC-12_IM	CFC-12_IF	HCFC-22_IF	CFC-11_IF	CFC-115_IF
Emission (Gg CFC-11-e)	$3,518 \cdot 10^{-5}$	$3,054 \cdot 10^{-5}$	$3,780 \cdot 10^{-3}$	0,000000	0,000000

Les résultats de la tendance des émissions en terme de réchauffement global de la planète et en terme d'appauvrissement de la couche d'ozone sont présentés respectivement dans les tableau 9 et 10.

Tableau 9. Tendance des émissions de chaque gaz en Gg CO₂-e selon les applications de 1995-2018

ANNE E	HFC-134a_IF	HFC-134a_IM	HFC-134a_404a_IF	HFC-134a_407C_IF	HFC-125_410a_IF	HFC-125_404a_IF	HFC-125_407C_IF	HFC-143a_404a_IF	HFC-32_410a_IF	HFC-32_407C_IF	CFC-12_IF	CFC-12_IM	HCFC-22_IF	CFC-11_IF	CFC-115_IF
1995	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,176	72,294	0,000	0,037	0,147
1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	14,917	48,809	0,000	0,054	0,234
1997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,652	50,158	9,859	0,067	0,295
1998	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	20,811	83,951	15,243	0,074	0,220
1999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	22,795	84,565	17,433	0,069	0,354
2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	32,142	73,682	17,825	0,090	0,397
2001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	49,029	128,533	20,364	0,165	1,614
2002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25,247	50,517	29,199	0,062	0,795
2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25,105	48,378	29,521	0,045	0,379
2004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	22,749	37,540	26,876	0,032	0,564
2005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	18,931	26,644	24,344	0,021	0,506
2006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	14,966	14,298	24,493	0,015	1,093
2007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,858	7,020	21,496	0,002	0,253
2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,242	4,536	35,541	0,007	0,424
2009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,090	1,450	71,510	0,003	0,673
2010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,852	2,010	94,016	0,000	0,760
2011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,771	1,622	102,358	0,000	0,402

2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,566	1,306	113,762	0,000	0,223
2013	9,060	53,791	9,818	0,000	38,360	29,075	29,075	47,124	7,420	2,915	1,096	1,062	117,713	0,000	0,304
2014	16,939	70,989	15,051	0,000	75,838	44,574	44,574	72,244	14,669	4,119	0,589	0,861	141,764	0,000	0,262
2015	17,606	49,217	15,392	0,000	79,511	45,583	45,583	73,880	15,380	4,209	0,593	0,689	139,215	0,000	0,245
2016	23,088	79,588	19,489	0,000	94,131	57,719	57,719	93,549	18,208	5,616	0,479	0,560	130,107	0,000	0,000
2017	15,626	17,381	13,215	0,000	62,972	39,137	39,137	63,433	12,181	3,961	0,385	0,445	127,041	0,000	0,000
2018	31,632	94,774	30,910	0,000	131,654	91,542	91,542	148,370	25,466	7,943	0,312	0,359	120,961	0,000	0,000

Tableau 10. Tendance des émissions des SAO en Gg CFC-11-e selon les applications de 1995-2018

ANNEE	CFC-12_IF	CFC-12_IM	HCFC-22	CFC-11_IF	CFC-115_IF
1995	0,001194	0,007088	0,000000	0,000008	0,000012
1996	0,001462	0,004785	0,000000	0,000012	0,000018
1997	0,001633	0,004917	0,000308	0,000014	0,000023
1998	0,002040	0,008230	0,000476	0,000016	0,000017
1999	0,002235	0,008291	0,000545	0,000015	0,000028
2000	0,003151	0,007224	0,000557	0,000019	0,000031
2001	0,004807	0,012601	0,000636	0,000035	0,000126
2002	0,002475	0,004953	0,000912	0,000013	0,000062
2003	0,002461	0,004743	0,000923	0,000010	0,000030
2004	0,002230	0,003680	0,000840	0,000007	0,000044
2005	0,001856	0,002612	0,000761	0,000005	0,000040
2006	0,001467	0,001402	0,000765	0,000003	0,000085
2007	0,000574	0,000688	0,000672	0,000000	0,000020
2008	0,001004	0,000445	0,001111	0,000001	0,000033
2009	0,000695	0,000142	0,002235	0,000001	0,000053
2010	0,000476	0,000197	0,002938	0,000000	0,000059
2011	0,000272	0,000159	0,003199	0,000000	0,000031
2012	0,000154	0,000128	0,003555	0,000000	0,000017
2013	0,000107	0,000104	0,003679	0,000000	0,000024
2014	0,000058	0,000084	0,004430	0,000000	0,000020
2015	0,000058	0,000068	0,004350	0,000000	0,000019
2016	0,000047	0,000055	0,004066	0,000000	0,000000
2017	0,000038	0,000044	0,003970	0,000000	0,000000
2018	0,000031	0,000035	0,003780	0,000000	0,000000

4 ANALYSE

4.1 ANALYSE DES EMISSIONS DE 2018

L'analyse par type de gaz a permis de déterminer neuf (09) principaux gaz-F émis en 2018 sur la base de 95% des émissions cumulées (Tableau 9). Cette analyse montre que ces gaz-F clés proviennent des installations fixes. Le gaz dominant est le HFC-143a contenu dans R-404a utilisé pour le conditionnement d'air. Le seul SAO qui fait partie des gaz clés émis en 2018 est le HCFC-22 contenu dans R-22.

Tableau 11. Gaz clé émis en 2018

SAO & Substituts	Emissions (Gg CO ₂ -e)	Emission (%)	Emission cumulée (%)
HFC-143a_404a_IF	148,370	19,445	19,445
HFC-125_410a_IF	131,654	17,254	36,698
HCFC-22_IF	120,961	15,852	52,551
HFC-134a_IM	94,774	12,421	64,972
HFC-125_404a_IF	91,542	11,997	76,969
HFC-125_407C_IF	44,634	5,850	82,818
HFC-134a_407C_IF	34,483	4,519	87,337
HFC-134a_IF	31,632	4,146	91,483
HFC-134a_404a_IF	30,910	4,051	95,534

L'analyse par SAO et par substituts donne les proportions des émissions de SAO et substituts en 2018 au Togo (Figure 1). Les émissions de SAO sont estimées à 121,631Gg CO₂-e soit 16% des émissions totales des gaz-F. Les émissions des substituts sont estimées à 641,409Gg CO₂-e soit 84% des émissions (Figure 2).

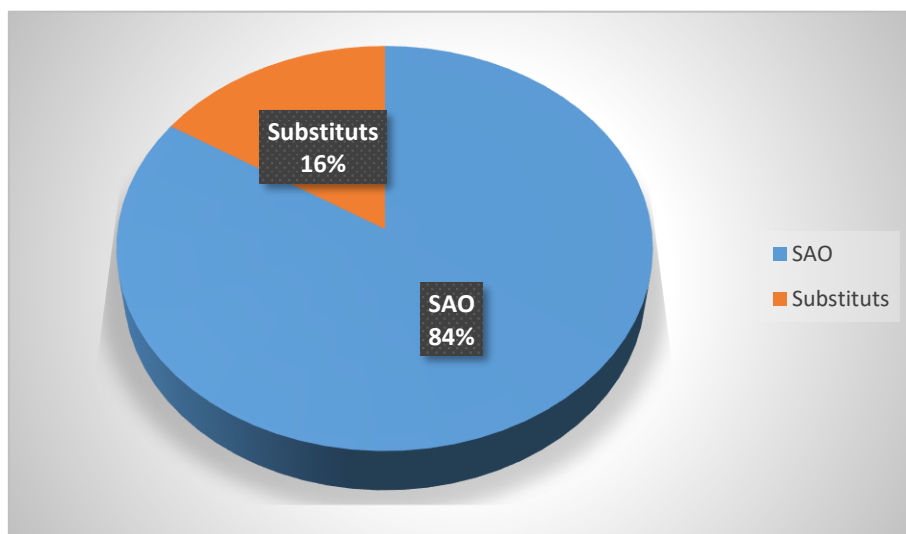


Fig. 1. Analyse par SAO et leurs substituts

Seuls les CFC et les HCFC ont le potentiel d'appauvrir la couche d'ozone ainsi l'analyse par PAO a été réalisée pour ressortir le SAO prédominant en terme de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone au Togo en 2018. En terme de PAO, les gaz HCFC-22 et CFC-12 contribuent respectivement à 98% et 2% tandis que les CFC-115, CFC-11 ne sont pas émis (Figure 2).

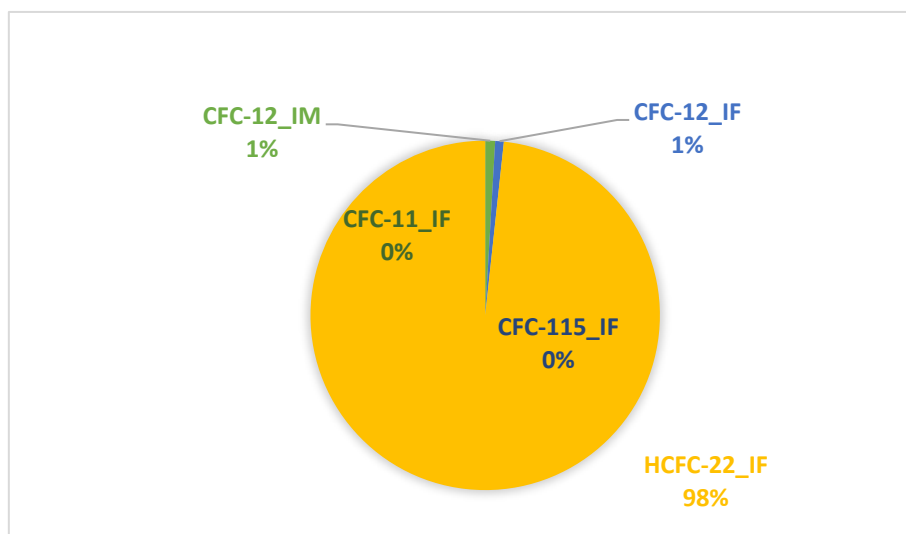


Fig. 2. Analyse des contributions de chaque SAO à l'appauvrissement en 2018

4.2 ANALYSE DES TENDANCES D'ÉMISSION

4.2.1 TENDANCE DES ÉMISSIONS DES CFC

Les émissions des CFC-11 ont connu une augmentation de 95% entre 1995 et 1998, de 52,9% entre 1998 à 1999 et de 16,09% entre 1999 et 2001 (Figure 3). A partir de 2001, elles ont commencé par diminuer de nouveau jusqu'à s'annuler en 2010 par substitution.

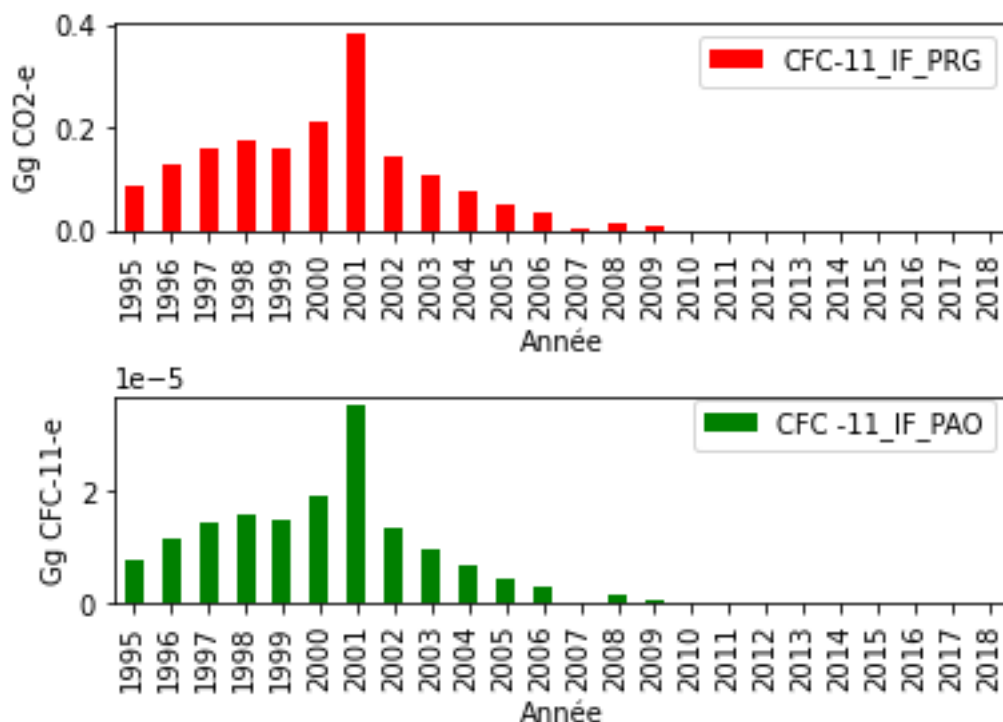


Fig. 3. Tendance des émissions des CFC-11 dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

Les émissions de CFC-12 ont connu une tendance à la baisse entre 1995 et 1997 (-32,5%) avant de s'augmenter de nouveau en 1998 (67,4%). De 1998 à 2000, les émissions ont diminué légèrement (-0,96%). Elles ont atteint un pic en 2001 avant de commencer par diminuer jusqu'en 2018. Sur la période de 2001 à 2018, les émissions ont diminué de 99%. Le taux d'évolution de CFC-12 sur toute la série temporelle est de -99% soit un taux de réduction annuel de 4,13% (Figure 4).

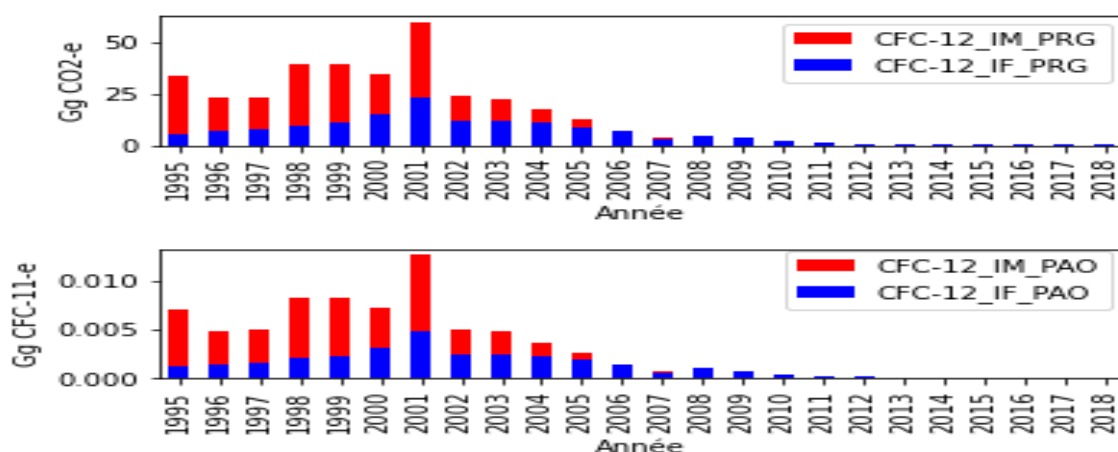


Fig. 4. Tendance des émissions des CFC au Togo de 1995-2018

Les émissions des CFC-115 ont connu une tendance à la hausse (96,97%) entre 1995 et 1997. De 1997 à 1998, elles ont connu une diminution de 25,34%. Entre 1998 et 2001, la tendance est à la hausse (97,23%). De 2001 à 2003, il y a diminution des émissions de 79,82% puis augmentation de 19,38% entre 2003 et 2006. La diminution entre 2006 et 2007 est de 76,48%. Entre 2007 et 2010, les émissions ont augmenté de 20,26%. A partir de 2010, elles ont commencé par diminuer de nouveau jusqu'à s'annuler en 2016. Globalement, de 1995 à 2018, les CFC-115 ont une tendance à la diminution avec un taux annuel estimé à -4,17% (Figure 5).

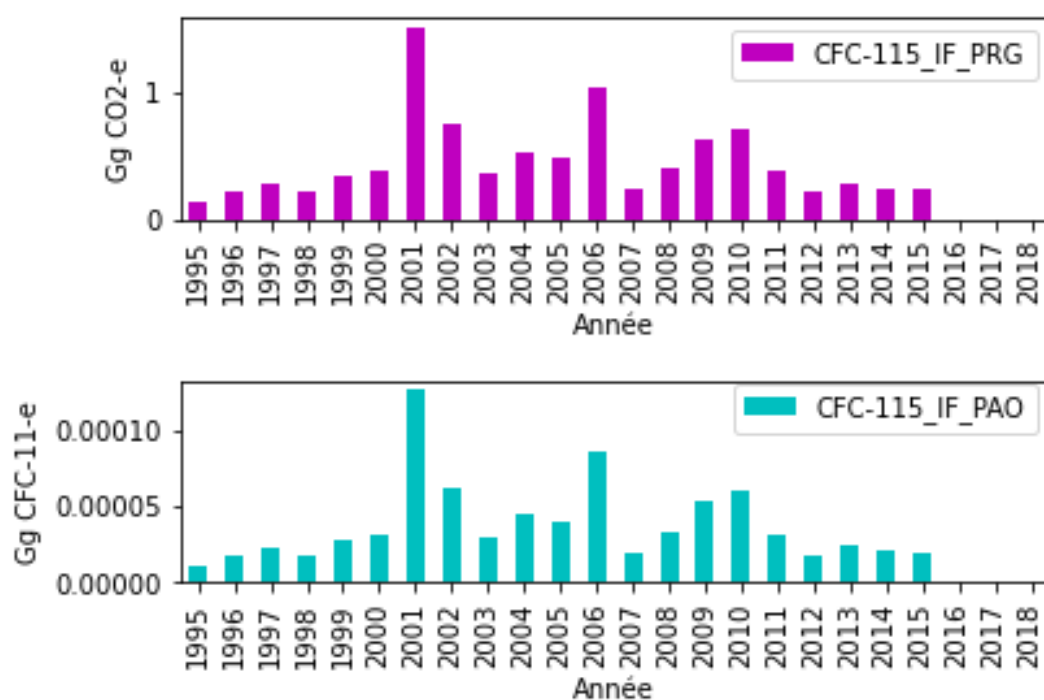


Fig. 5. Tendence des émissions des CFC-115 dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

4.2.2 TENDANCE DES ÉMISSIONS DE HCFC

Les émissions de HCFC-22, ont connu une augmentation (18,79%) entre 1997 et 2003 et une diminution de 17,55% entre 2003 et 2005 avant de remonter de 2005 à 2013 avec une augmentation de 123,20%. Ensuite, elles ont recommencé par diminuer (-0,4%) de nouveau entre 2013 et 2018. Sur toute la série temporelle, les émissions de HCFC-22 ont augmenté de 99,8% soit soit un accroissement de 4,16% /an (Figure 6).

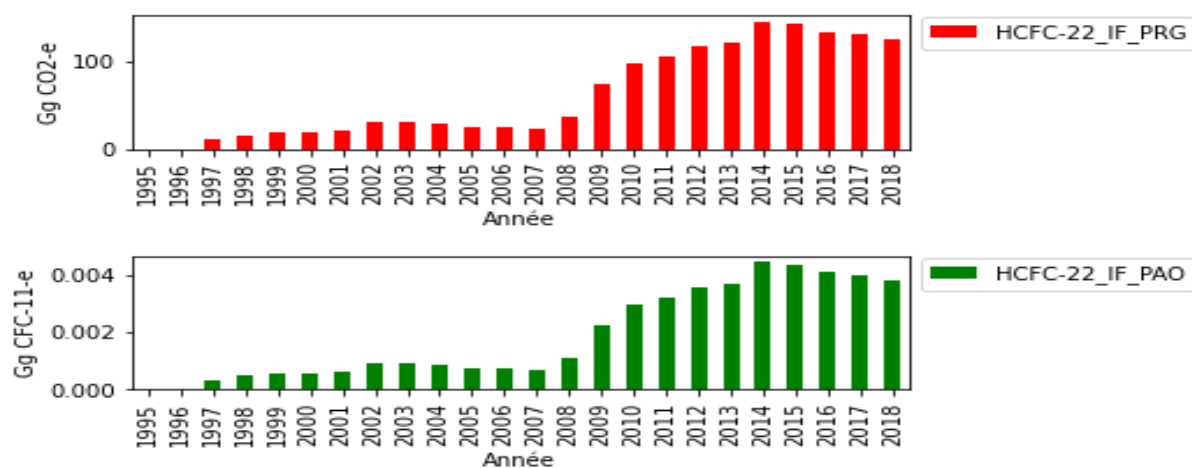


Fig. 6. Tendence des émissions des HCFC-22 dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

4.2.3 TENDANCE DES ÉMISSIONS DES HFC

Les HFC-125 sont émis avec taux d'augmentation de 96,71% entre 2013 et 2016 et un taux de diminution de -32,19% de 2016 à 2017 avant de remonter (115,35%) de nouveau jusqu'en 2018. De 2013 à 2018, les émissions des HFC-125 ont connu une évolution globale de 187,26% soit 37,45% /an (Figure 7).

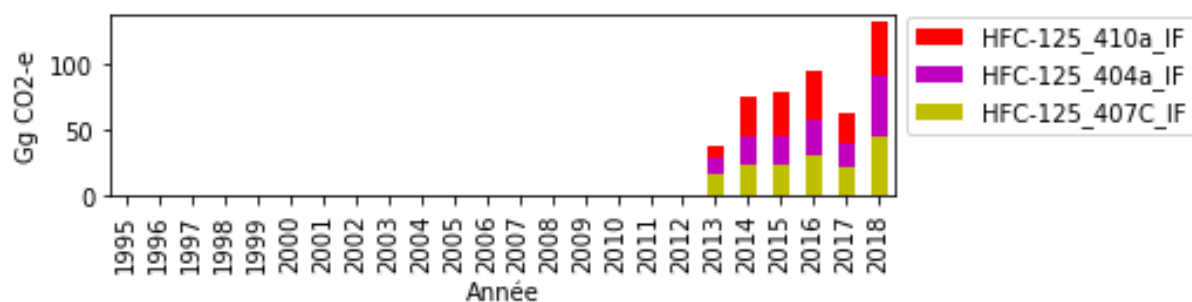


Fig. 7. Tendance des émissions des HFC-125 contenus dans les gaz R-410a; R-404a; R-407C utilisés dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

Les émissions des HFC-32 ont augmenté (103,64%) entre 2013 et 2016 puis elles ont diminué de 32,25% entre 2016 à 2017 avant de commencer par augmenter de 106,97% de nouveau jusqu'en 2018. De 2013 à 2018, elles ont connu une évolution globale de 185,58% soit une croissance annuelle de 37,12% (Figure 8).

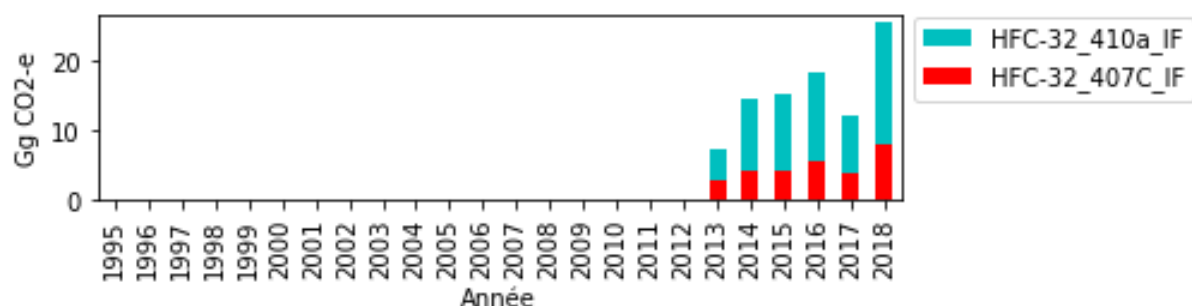


Fig. 8. Tendance des émissions des HFC-32 contenus dans R-410a; R-407C dans le secteur résidentiel

Les émissions de HFC-134a ont augmenté de 55,16% entre 2013 et 2016. Elles ont connu une diminution de 56,72% entre 2016 à 2017 avant de commencer par augmenter de 202,43% en 2018. De 2013 à 2018, elles ont augmenté de 103,08% soit une tendance à la hausse de 20,62% /an (Figure 9).

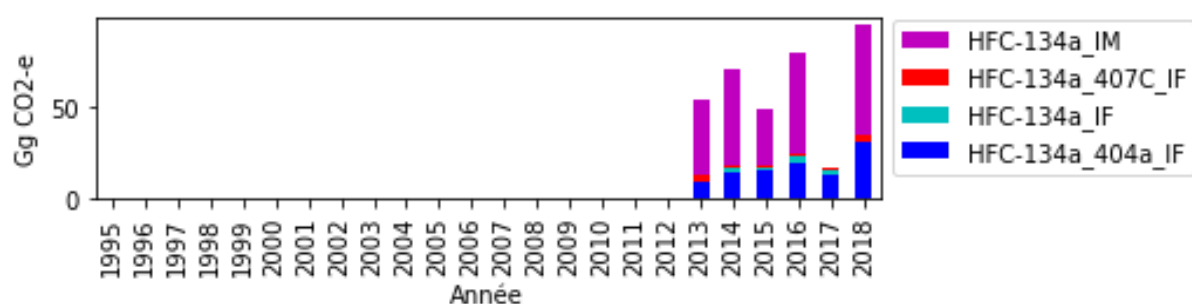


Fig. 9. Tendance des émissions des HFC-134a utilisé dans le secteur de l'automobile; des HFC-134a contenus dans R-404a; HFC-134a contenu dans R-404a; HFC-134a utilisé dans le secteur résidentiel

Les émissions de HFC-143a ont augmenté de 83,60% entre 2013 et 2016. Elles ont connu une diminution de 32,19% entre 2016 et 2017 avant de commencer par augmenter de 133,9% en 2018. De 2013 à 2018, elles ont connu une croissance de 191,12% soit 38,22%/an (Figure 10).

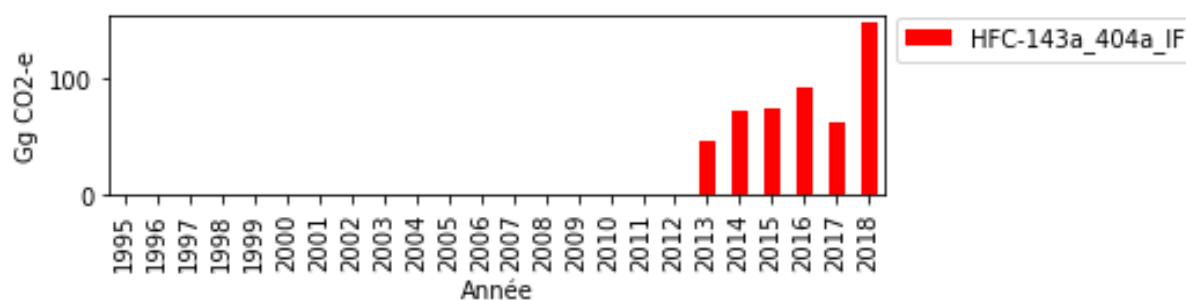


Fig. 10. Tendence des émissions des HFC-134a contenus dans R_404a dans le secteur résidentiel

La tendance des émissions totales de tous les HFC (Figure 12) indique une augmentation de 79,32% entre 2013 et 2016 et une diminution de -40,23% entre 2016 et 2017 avant d'augmenter de 139,90% en 2018. De 2013 à 2018, elles ont connu une croissance les HFC de 157% soit 31,4%/an (Figure 11).

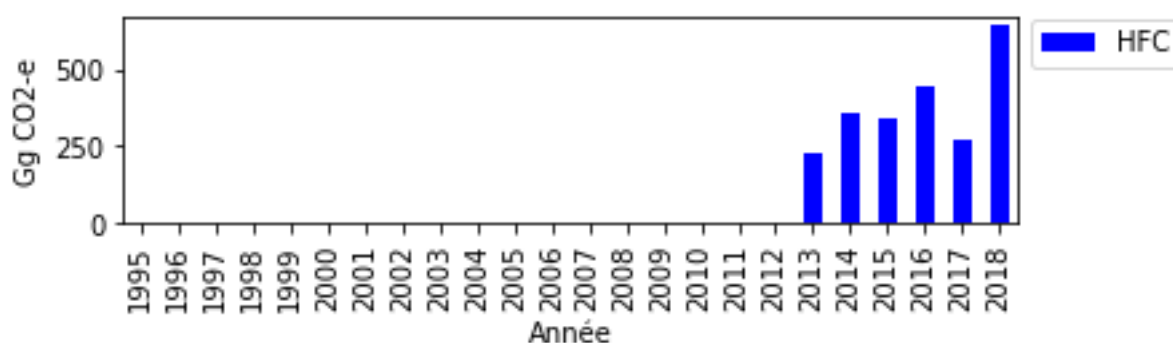


Fig. 11. Tendence des émissions de tous les HFC

5 DISCUSSION DES RESULTATS

L'analyse des résultats d'estimation des émissions montre que les CFC-11 sont éliminés depuis 2004 au Togo tandis que les CFC-115 sont éliminés depuis 2010. Cependant les CFC-12 ne sont pas complètement éliminés prouvant que des quantités faibles de CFC-12 persistent toujours sur le territoire. Quant aux HCFC-22, leurs émissions sont en faible diminution à partir de 2013 (-0,4% de 2013 à 2018). Ces résultats sont plus ou moins en accord avec la politique d'élimination mise en place par le BNO. En effet, le Togo a pris comme engagement d'éliminer, à travers le BNO, la totalité des CFC en 2010 et d'éliminer les HCFC aux échelles de 10% en 2015; 35% en 2020; 67,5% en 2025 par rapport aux estimations de 2013 prise comme année de base. Mais la faible diminution des HCFC-22 laisse critiquer le respect du calendrier prévu. Les émissions de CFC-12 obtenues au-delà de l'année d'échéance de leurs éliminations sont dues à la présence de quelques équipements de consommation de CFC non réadaptés à la consommation de substituts et surtout de la disponibilité de stock de CFC-12 qui transitent clandestinement par des frontières poreuses.

Egalement l'analyse a montré que le HCFC-22 est le seul SAO clé émis en 2018 dont la croissance des émissions a été rapide (4,16%/an). Ce résultat s'explique par le fait qu'il est le SAO le plus consommé au Togo.

La croissance forte (31,4% /an) des émissions des HFC serait liée au besoin croissant du froid lié à l'évolution croissante de la modernisation des centres urbains nécessitant des installations de froid pour besoin du confort. Cette croissance serait également due à l'augmentation de la chaleur dans les pays tropicaux liés au réchauffement climatique. En plus, elle pourrait être aussi expliquée par l'implantation des nouvelles usines agroalimentaires qui écoulent leurs produits sur le marché local dont leur conservation nécessite l'utilisation des gaz-F, notamment les HFCs.

6 CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les SAO disparaissent de plus en plus au Togo laissant place aux HFC qui sont en nette augmentation. Les CFC-11 et CFC-115 ont totalement disparu. Cependant les CFC-12, et HCFC-22 persistent toujours sur le terrain compte tenu de l'existence des appareils qui sont mieux adaptés à leurs applications et de la porosité des frontières. Les HCFC-22_IF est le seul SAO qui

fait partie des gaz clés émis en 2018 dans la sous catégorie des émissions des SAO.. L'émission totale des HFCs est estimées à 641,409 Gg CO₂-e en 2018 et constituent ainsi une catégorie d'émission de gaz à effet de serre au Togo.

Malgré les efforts du pays dans l'élimination des SAO, la présence de petites quantités de SAO (CFC-12, HCFC-22) et de l'augmentation des émissions des HFCs amène à faire des recommandations en vue de la préservation de la couche d'ozone et de la lutte contre les changements climatiques, notamment:

- Rédoubler d'effort dans la surveillance des CFC-12 et HCFC-22;
- Equiper les techniciens du froid d'appareil de recyclage;
- Veiller à la déclassification des équipements utilisant les CFC-12 et HCFC-22;
- Promouvoir l'importation des fluides frigorigènes alternatifs comme le propane (R290), Isobutane (R-600a) utilisés dans les installations fixes, et les R-448A (HFC-HFO), R-455A (HFC-HFO) en remplacement de R-404A; et
- Proposer des mesures d'atténuation des gaz HFC émis à l'exemple de la promotion de l'utilisation de matériaux d'isolants thermiques dans la construction à travers le territoire national.

REFERENCE

- [1] Abdoulwahab, M. T. (2016). Dans Étude de la variabilité et la tendance de l'ozone stratosphérique au-dessus des tropiques et subtropiques sud.. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Université de la Réunion, 2016. Français. NNT: 2016LARE0012.
- [2] Barlier-Salsi et al. (2020). Exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels - Guide d'évaluation des risques sans mesure. 10.13140/RG.2.2.12092.26248.
- [3] Bencherif et al. (2020). Ozone Variability and Trend Estimates from 20-Years of Ground-Based and Satellite Observations at Irene Station, South Africa. MDPI.
- [4] CCNUCC. (2007). Manuel du logiciel pour les inventaires de gaz à effet de serre destiné aux pays à l'annexe I de la CCNUCC. Version: 1.3.2.
- [5] CITEPA. (2004). Calcul des émissions dans l'air, Méthodologie –Emissions.
- [6] Doorn et al. (2005). Gestion du processus des inventaires des gaz à effet de serre. Programme d'appui aux communications nationales. 1-63.
- [7] FEM. (2010). Investir dans l'élimination progressive des Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone; l'expérience du FEM.
- [8] Frihi, A. (2018). Évolution de la colonne totale d'ozone à deux stations tropicales: observations et modélisation. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Sorbonne Université, 2018. Français. NNT: 2018SORUS240. tel-02476395. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Sorbonne Université, 2018. Français. NNT: 2018SORUS240. tel-02476395.
- [9] GIEC. (2005). Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire: Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés.
- [10] GIEC. (2006). Lignes directrices du GIEC: Emissions de substituts fluorés de substances appauvrissant l'ozone.
- [11] GIEC. (2018). Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz.
- [12] Jantzen, A. (2018). Connaissances des bienfaits et des méfaits du Soleil sur la peau et de la photoprotection. Enquête auprès des étudiants en médecine et en pharmacie de Rouen. Sciences pharmaceutiques. 2018. dumas-01930884.
- [13] Kakani et al. (2003). Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. Agricultural and Forest Meteorology, 120 doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.015>.
- [14] Mecke et al. (1931).: The photochemical ozone equilibrium in the atmosphere, Physik. Chem., B.
- [15] PNUE. (2001). Dans Protection de la couche d'ozone: Elimination progressive des SAO dans les pays en développement; Manuel de formation des agents des douanes.
- [16] Sabi et al. (2008). Contribution à l'estimation des Substances Appauvrissant la couche d'ozone au Togo de 1995-2005. Déchets sciences et techniques, N°51.
- [17] Secrétariat de la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone, e. d. (2017). Manuel du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Nairobi: Secrétariat de l'ozone.
- [18] Vernet et al. (1993). The Response of Antarctic Phytoplankton to Ultraviolet Radiation: Absorption, Photosynthesis, and Taxonomic Composition. American Geophysical Union, doi: 10.1029/AR062p0143, URL <http://dx.doi.org/10.1029/AR062p0143>.
- [19] William T. Ball et al. (2018). Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery. Atmos. Chem. Phys., 18, 1379–1394, 2018 <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>.

Grossesse cornuale, entre traitement médical et chirurgical : Une entité rare de grossesse extra-utérine (A propos de deux cas)

[Cornual pregnancy, between medical and surgical treatment : A rare entity of ectopic pregnancy (About two cases)]

K. El Matar¹, R. Watfeh¹, K. Tamim¹, S. Bargach¹, M. Elyousfi¹, A. Drissi Mniani², L. Chat², and N. Allali²

¹Service de gynécologie-obstétrique, oncologie et grossesse à haut risque, Hôpital Maternité Souissi, Rabat, Morocco

²Service de radiologie, Hôpital d'enfants, CHU Avicenne, Rabat, Morocco

Copyright © 2021 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: Cornual pregnancy is a rare form of ectopic pregnancy, involving the uterine horn. It constitutes a gynecological emergency due to the major risk of cataclysmic uterine rupture which can jeopardize the maternal vital prognosis. Its seriousness lies mainly in the diagnosis.

The management of this formerly exclusively surgical pathology has evolved to medical treatment, or even the abstention from any therapy. Our main objective is to assess the effectiveness of the different types of care offered to these two patients.

KEYWORDS: Ectopic pregnancy, corneal pregnancy, surgery, uterine rupture.

RESUME: La grossesse cornuale est une forme rare des grossesses ectopiques, au niveau de la corne utérine. Elle constitue une urgence gynécologique par le risque majeur de rupture utérine cataclysmique pouvant mettre en jeu le pronostic vital maternel. Sa gravité réside essentiellement dans le diagnostic.

La prise en charge de cette pathologie autrefois exclusivement chirurgicale, a évolué jusqu'aux traitements médicaux, voire l'abstention de toute thérapeutique. Notre objectif principal est d'évaluer l'efficacité des différents types de prise en charge proposés à ces deux patientes.

MOTS-CLEFS: Grossesse ectopique, grossesse cornuale, chirurgie, rupture utérine.

1 INTRODUCTION

La grossesse extra-utérine (GEU) représente 1 à 3 % des grossesses. La localisation cornuale, définie par l'implantation d'un sac gestationnel dans la corne d'un utérus, survient dans 2 % des cas [1]. Bien que de localisation anatomique diverse, il est usuel de regrouper sous le terme générique de grossesse cornuale, les grossesses à proprement parler cornuales, mais également les grossesses angulaires et interstitielles.

Son traitement repose sur l'expulsion de la grossesse et l'hémostase de la corne utérine en cas de rupture hémorragique. Les deux techniques d'hémostase de la corne utérine sont la cornuotomie avec suture ou la résection de la corne utérine avec salpingectomie le plus souvent par coelioscopie [2].

2 MATERIEL ET METHODES

Il s'agit d'étude rétrospective descriptive de deux cas de grossesse cornuale, menée et pris en charge au service de gynécologie-obstétrique à la maternité Souissi de Rabat.

2.1 CAS N°1

Il s'agit d'une femme âgée de 36 ans, deuxième geste, nullipare avec une fausse couche spontanée; admise aux urgences pour des métrorragies noirâtres minimales avec une aménorrhée de 12 semaines. L'examen clinique trouve une légère sensibilité hypogastrique latéralisée à gauche. L'échographie pelvienne a objectivé un épaississement de l'endomètre sans sac gestationnel visible. Le taux initial des β HCG était à 550,2 mUI/ml. BHCG de 48h à 620mUI/L et une échographie de contrôle sans particularité. Une IRM pelvienne a été ensuite réalisée afin de bien localiser la grossesse ainsi qu'à la recherche d'une éventuelle malformation utérine. L'IRM a objectivé une grossesse interstitielle gauche avec un sac gestationnel mesurant 48x37mm sans épanchement dans le cul de douglas (figure 1). Devant l'état hémodynamique stable de la patiente et le bilan biologique; hépatique et rénal correct, nous avons opté pour un traitement conservateur par une injection unique de 60 mg de Méthotrexate. L'évolution était marquée par la décroissance des taux β HCG jusqu'à négativation 15 jours après.

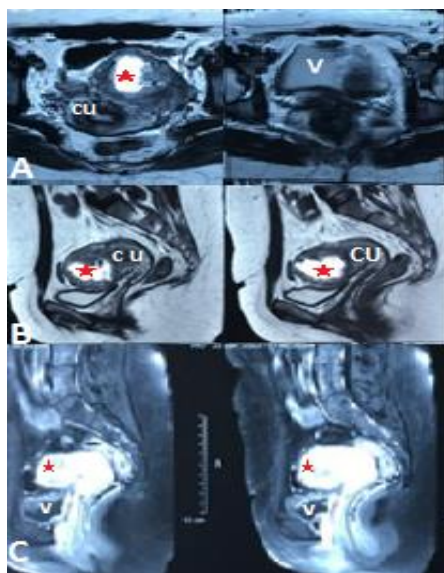


Fig. 1. IRM pelvienne avec des séquences axiales T2 (Fig. A), sagittale T2 (Fig. B), et des séquences sagittales T1 après injection de GADOLINIUM (Fig. C) objectivant la présence d'un sac gestationnel (étoile) localisée au niveau de la paroi antérieure de la région cornuale gauche mesurant 48x37mm en rapport avec une grossesse ectopique interstitielle

V: vessie, CU: corps utérin, étoile: grossesse ectopique

2.2 CAS N° 2

C'est une patiente de 31 ans, sans antécédents pathologiques notables, deuxième geste primipare, la 1ère grossesse c'était un accouchement par césarienne pour présentation de siège, admise aux urgences pour des douleurs pelviennes latéralisées à gauche avec métrorragies sur aménorrhée de 8 semaines et un jour. L'examen clinique retrouve un état hémodynamique stable, métrorragies de faible abondance d'origine endo-utérine avec au toucher vaginal l'utérus augmenté à deux travers de doigts au-dessus de la symphyse pubienne sans masse latéro-utérine palpable ni cri du douglas. L'échographie a objectivé un utérus gravide contenant un sac gestationnel inséré dans la corne utérine droite avec un embryon viable de 8 semaines d'aménorrhée. Le taux de BHCG était à 56451.5UI/L. Nous avons réalisé une cornuostomie avec évacuation de la grossesse et suture de la corne utérine. Les suites opératoires ont été simples avec surveillance post-opératoire du taux de BHCG à 3561.3 UI/L et 1464.7UI /L respectivement. La surveillance hebdomadaire de BHCG sans administration de MTX a été décidée et l'évolution a été marquée par la décroissance jusqu'à négativation de BHCG au bout de deux semaines.

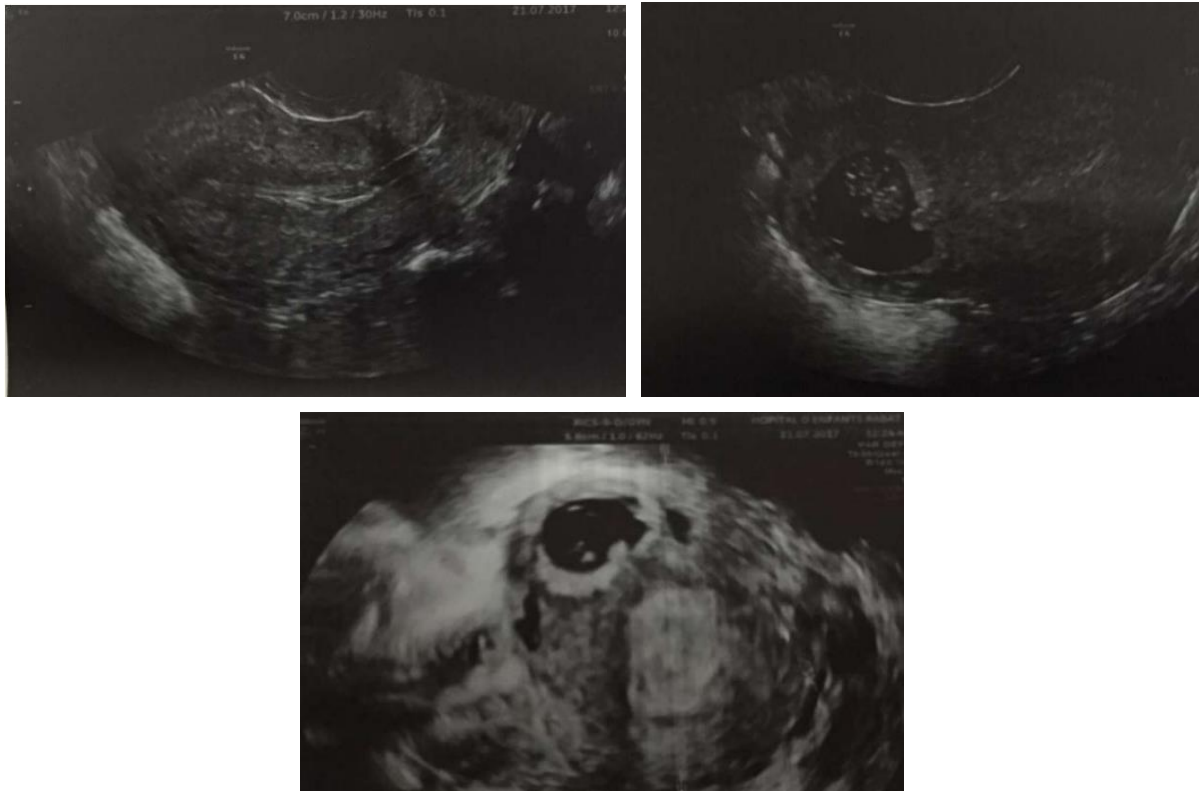


Fig. 2. Images échographiques montrant la grossesse cornuale



Fig. 3. Image au cours de l'opération montrant la grossesse cornuale avant évacuation



Fig. 4. Image montrant l'embryon et le trophoblaste après évacuation

3 DISCUSSION

Les GEU interstitielles, angulaire et cornuales sont souvent regroupées, notamment dans la littérature anglo-saxonne où elles sont synonymes, et représentent une entité Clinique et thérapeutique. Au sens strict du terme, la GEU interstitielle se développe dans la portion intramurale de la trompe. Le sac gestationnel est placé à côté du ligament rond [3]. La GEU angulaire se développe au niveau de l'ostium tubaire au fond de la corne utérine. A la différence de la GEU interstitielle, elle est située dans l'axe du ligament rond. Le risque de rupture est moindre puisque l'implantation a lieu dans la cavité utérine [3]. La GEU cornuale est définie par une implantation du sac dans la corne rudimentaire d'un utérus bicornue. Par extension sont parfois regroupées sous cette définition les grossesses implantées dans la corne d'un utérus cloisonné ou sur le moignon d'une trompe chez une patiente ayant bénéficié d'une salpingectomie [3].

Ces grossesses représentent environ 2% des GEU [4] et ont un taux de mortalité de 2-2.5%, doublé par rapport aux GEU tubaires [5].

Selon Tharaux-Deneux, l'âge maternel accroît de façon significative le risque de GEU après l'âge de 28 ans [6], indépendamment de la plus longue exposition aux divers facteurs de risque. La moyenne d'âge dans notre étude était de 33ans et demi.

Dans la plupart des études, la GEU est associée à une faible parité [7]. Ce qui concorde avec notre étude. La nulliparité vient en tête, suivie de la primiparité alors que la multiparité vient en troisième position.

Les facteurs de risque sont similaires à ceux de la GEU tubaire. L'antécédent de salpingectomie est également retrouvé dans 25-40 % des cas [8]. Simpson et al. rapportent 46 cas de GEU cornuales après salpingectomie ipsilatérale [9]. La PMA est reconnue comme facteur de risque, augmentant surtout le risque de grossesse hétérotopique (coexistence d'une grossesse intra et extra-utérine) [10], [11]. Les antécédents d'utérus bicornue ou pseudo unicornue avec une trompe rudimentaire qui sont spécifiques de la grossesse cornuale, les infections sexuellement transmissibles et le tabagisme maternel.

Comme pour la GEU tubaire classique, le diagnostic de la grossesse cornuale repose sur une synthèse de la clinique, de BHCG plasmatiques positifs et de l'échographie pelvienne.

La Clinique: La présentation clinique repose sur la triade caractéristique des GEU, associant algies pelviennes et/ou métrorragies dans un contexte d'aménorrhée avec BHCG positifs. Son développement peut être plus long du fait des conditions locales favorables à l'expansion du sac gestationnel, rendant les signes cliniques plus tardifs. La rupture est toutefois fréquente et souvent brutale. Elle est souvent très hémorragique et entraîne un tableau clinique catastrophique de choc hémorragique [5].

Dans notre étude, cette association était présente chez une seule patiente.

L'examen clinique seul reste un mauvais moyen pour diagnostiquer une GEU, mais il permet de la soupçonner devant des tableaux très polymorphes et de pratiquer le bilan paraclinique nécessaire.

Le toucher vaginal permet de préciser l'état du col, la taille utérine et l'état des annexes: La présence d'une masse latéro-utérine sensible, mal limitée est un élément important dans le diagnostic de la GEU mais n'est pas toujours évident à retrouver, alors que l'empâtement douloureux d'un cul de sac est souvent présent [7]. Le cri du douglas est souvent présent si la GEU se présente à un stade tardif (rupture). Dans notre étude, ni la masse latéro-utérine ni le cri de Douglas n'ont été objectivés à l'examen clinique.

Timor-Tritsch décrit trois critères échographiques essentiels pour la GEU cornuale en 1992:

- Une cavité utérine vide avec un sac excentré à droite ou à gauche de la cavité
- Un sac gestationnel séparé de plus de 1 centimètre de la cavité utérine
- Une couronne myométriale périphérique d'épaisseur inférieure à 5 mm.

Ces paramètres sont assez spécifiques (88 à 93%) avec une sensibilité médiocre (40%) [12].

Le taux de BHCG initial dans les GEU cornuales est souvent plus élevé par rapport aux GEU tubaires [12]. Dans notre étude, le taux de BHCG était significatif chez une patiente.

IRM pelvienne: En cas d'examen échographique difficile, de doute diagnostique, de difficulté à localiser une GEU, l'IRM pelvienne est un examen complémentaire très utile [13].

Traitement de la GEU cornuale: Jusqu'à récemment, le traitement habituel consistait en une salpingectomie homolatérale et une résection cornuale par laparotomie [14], voire à une hystérectomie d'hémostase, qui devrait pouvoir être évitée au vu des progrès en imagerie (apport de l'échographie endovaginale pour un diagnostic plus précoce) [10]. Depuis le début des années 1980, de nombreuses tentatives de traitement médical conservateur ont pu être proposées aux patientes qui présentaient une GEU non rompue [15], [16].

Le Méthotrexate a été utilisé dans la littérature selon des protocoles variés: il a ainsi été testé par voie systémique ou in situ, selon une injection unique ou un protocole séquentiel avec injections répétées.

En 1996, Benifla et al [5]. retrouvent 87% de succès de traitement médical pour 15 patientes présentant une grossesse cornuale en utilisant le score préthérapeutique de Fernandez.

Traitement chirurgical: Il est indiqué en urgence en cas de douleurs abdominales intenses, suspicion de rupture avec hémopéritoine ou instabilité hémodynamique. De nombreuses possibilités existent. Du traitement radical (hystérectomie par laparotomie) à un traitement plus conservateur (incision cornuale par coelioscopie), les options sont nombreuses [17].

Les techniques coelioscopiques classiquement décrites sont les suivantes:

- Résection cornuale
- Cornuostomie

Dans notre étude, une patiente a bénéficié d'une cornuostomie sans recours au MTX, alors que la deuxième avait reçu une injection de MTX en IM.

Le pronostic de la GEU n'est plus seulement lié à la mortalité maternelle bien qu'elle en représente encore 10 %, mais aussi au risque d'infertilité.

4 CONCLUSION

La grossesse cornuale, est une grossesse extra-utérine de siège inhabituel au pronostic très grave qu'il faut savoir identifier au stade précoce. Son diagnostic est souvent pris à défaut à l'échographie trans-abdominale et endo-vaginale en permettant sa découverte au stade précoce constitue un très bon moyen de diagnostic qui dans certains cas peut s'aider du dosage des BHCG plasmatiques. En cas de doute, l'imagerie par résonance magnétique, affirmera le diagnostic de façon précise.

Le traitement de la GEU a changé dans ces dix dernières années et le traitement par laparotomie n'a plus de justification que dans des cas particuliers.

Le traitement coelioscopique de la GEU est une méthode élégante, économique, qui apporte des bénéfices aux patientes. Cette technique fiable, elle contribue à la prise en charge de la pathologie et de son étiologie, de traiter la GEU, d'estimer le pronostic de fertilité. Cependant, le traitement médical de la GEU est devenu une réalité thérapeutique, il constitue dès aujourd'hui une alternative légitime, qui peut être préférée dans certains cas au traitement de référence que constitue la coeliochirurgie.

Dans notre contexte marocain et en présence de méthodes de diagnostic précoce de GEU, la laparotomie perd sa place dans le traitement des grossesses extra-utérines.

REFERENCES

- [1] Grossesse extra-utérine cornuale: prise en charge, fertilité ultérieure et devenir obstétrical Cornual pregnancy: Management and subsequent fertility K. Nikodijevic A, A. Bricou A, A. Benbara A, G. Moreaux A, C. Nguyen A, B, C. Lionel A, B, C. Poncelet A, B, J. Boujenah B A, Service de gynécologie-obstétrique, université Paris XIII-Bobigny, CHU Jean-Verd.
- [2] Prise en charge d'une grossesse extra-utérine cornuale Management of a corneal ectopic pregnancy, C. Prenauda, S. Scherier B, B. Malgras A, Service de chirurgie digestive, HIA Bégin, 69, avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé, France b Service de chirurgie gynécologique, HIA Bégin, 69, avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé, France.
- [3] O. Jourdain, M. Fontanges, A. Schiano, F. Rauch, And J.-M. Gonnet, "management of other ectopic pregnancies (cornual, interstitial, angular, ovarian)," j gynecol obstet biol reprod (paris), vol. 32, no. 7 suppl, pp. S93–100, nov. 2003.
- [4] J. Bouyer, J. Coste, H. Fernandez, J. L. Pouly, And N. Job-Spira, "sites of ectopic pregnancy a 10 year population-based study of 1800 cases," hum. Reprod., vol. 17, no. 12, pp. 3224–3230, dec. 2002.

- [5] J. L. Benifla, H. Fernandez, E. Sebban, E. Darai, R. Frydman, And P. Madelenat, "alternative to surgery of treatment of unruptured interstitial pregnancy: 15 cases of medical treatment," *eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.*, vol. 70, no. 2, pp. 151–156, dec. 1996.
- [6] Vichnin M, Sammel M, Menon S, Narnhart K. Risk factors for ectopic pregnancy in adolescents. *J pediatric adolesc gynecol.* 2006; 19: 146-7.
- [7] Dupuis O, Camagma O, Benifla J, Batallan A. Grossesse extrautérine. *Encycl med chir.* 2001; 5: 30-32.
- [8] M. D. Pisarska, S. A. Carson, And J. E. Buster, "ectopic pregnancy," *lancet*, vol. 351, no. 9109, pp. 1115–1120, apr. 1998.
- [9] J. W. Simpson, C. D. Alford, And A. C. Miller, "interstitial pregnancy following homolateral salpingectomy. A report of 6 58 new cases and review of the literature," *am. J. Obstet. Gynecol.*, vol. 82, pp. 1173–1179, nov. 1961.
- [10] T. Tulandi And D. Al-Jaroudi, "interstitial pregnancy: results generated from the society of reproductive surgeons registry," *obstet gynecol*, vol. 103, no. 1, pp. 47–50, jan. 2004.
- [11] R. M. F. Van Der Weiden And V. H. M. Karsdorp, "recurrent cornual pregnancy after heterotopic cornual pregnancy successfully treated with systemic methotrexate," *arch. Gynecol. Obstet.*, vol. 273, no. 3, pp. 180–181, dec. 2005.
- [12] J. D. Fisch, B. H. Ortiz, S. I. Tazuke, U. Chitkara, And L. C. Giudice, "medical management of interstitial ectopic pregnancy: a case report and literature review," *hum. Reprod.*, vol. 13, no. 7, pp. 1981–1986, jul. 1998.
- [13] K. Tamaï, T. Koyama, And K. Togashi, "mr features of ectopic pregnancy," *eur radiol*, vol.
- [14] R. P. Jansen and P. M. Elliott, "Angular intrauterine pregnancy," *Obstet Gynecol*, vol. 58, no. 2, pp. 167–175, Aug. 1981.
- [15] T. Tanaka, H. Hayashi, T. Kutsuzawa, S. Fujimoto, and K. Ichinoe, "Treatment of interstitial ectopic pregnancy with methotrexate: report of a successful case," *Fertil. Steril.*, vol. 37, no. 6, pp. 851–852, Jun. 1982.
- [16] L. Borgatta, M. Burnhill, and P. Stubblefield, "Single dose methotrexate therapy: application to interstitial ectopic pregnancy," *Int J Gynaecol Obstet*, vol. 60, no. 3, pp. 279–282, Mar. 1998.
- [17] R. A. Sasso, "Laparoscopic diagnosis and treatment of cornual pregnancy. A case report," *J Reprod Med*, vol. 40, no. 1, pp. 68–70, Jan. 1995.

Perceptions du changement climatique et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs de la région du lac Tumba de la République Démocratique du Congo

[Farmers' perceptions of climate change and endogenous adaptive strategies in Tumba landscape, Democratic Republic of Congo]

Benjamin L. Mandjo¹ and Patrick A. Dande²

¹Professeur Associé, Unité d'Écodéveloppement, Ethnobiologie et Savoirs endogènes, Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

²Assistant, Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2021 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: Climate change has thus become a major global issue. Scientific studies clearly show that the changes at work since the beginning of the industrial period are out of step with the natural variability of the climate. It is a threat to the survival of rural households in sub-Saharan Africa who depend mainly on agriculture and the exploitation of natural resources. This study aims to analyze the perceptions of agricultural producers of climate change, its impacts on the environment, adaptation strategies and the relationships between these different aspects. Surveys were carried out through group discussions and an individual questionnaire administered to 300 households in the Lake Tumba region in the Democratic Republic of Congo. Our analyzes made it possible to identify the factors influencing local perceptions of climate change and the choice of adaptation strategies. The study shows that the majority of rural populations surveyed perceive a decrease in rainfall (81.7%), an increase in temperatures during the day (95%) and at night (98.3%) and strong winds (77, 6%). The level of education of the head of household, size, membership of a peasant organization and cultivated area determine this perception. Land degradation results mainly in soils that are flooded for longer and low agricultural yields. The main adaptation strategy is varietal adaptation. The determining factors of this adaptation are membership of a peasant organization, training in agricultural techniques and access to agricultural inputs. The adoption of an adaptation strategy by a producer depends on his perception of climate change and its causes, its negative impacts on the environment and the means available to provide solutions.

KEYWORDS: DRC, Tumba landscape, climate change, resilience, endogenous knowledge.

RESUME: Le changement climatique est devenu ainsi un enjeu mondial majeur. Les études scientifiques montrent clairement que les changements à l'œuvre depuis le début de la période industrielle sont sans commune mesure avec la variabilité naturelle du climat. Il est une menace pour la survie des ménages ruraux d'Afrique subsaharienne qui vivent principalement d'agriculture et de l'exploitation des ressources naturelles. Cette étude a pour but d'analyser les perceptions des producteurs agricoles du changement climatique, ses impacts sur l'environnement, les stratégies d'adaptation et les relations qui existent entre ces différents aspects. Des enquêtes ont été réalisées au travers des discussions de groupes et d'un questionnaire individuel administré à 300 ménages dans la région du Lac Tumba en République Démocratique du Congo. Nos analyses ont permis d'identifier les facteurs influençant les perceptions locales du changement climatique et le choix des stratégies d'adaptation. L'étude montre que la majorité de populations rurales interrogées perçoivent une baisse des pluies (81,7 %), une hausse des températures pendant la journée (95%) et pendant la nuit (98,3 %) et des vents violents (77,6 %). Le niveau d'éducation du chef de ménage, la taille, l'appartenance à une organisation paysanne et la superficie cultivée déterminent cette perception. La dégradation des terres se traduit essentiellement par des sols inondés plus longtemps et la faiblesse des rendements agricoles. La principale stratégie d'adaptation est l'adaptation variétale. Les facteurs déterminants de cette adaptation sont l'appartenance à une organisation paysanne, la formation en techniques agricoles et l'accès aux intrants agricoles. L'adoption d'une stratégie d'adaptation par un producteur dépend de sa perception du changement climatique et de ses causes, ses impacts négatifs sur l'environnement et des moyens disponibles pour apporter des solutions.

MOTS-CLEFS: RDC, lac Tumba, changement climatique, résilience, savoirs endogènes.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique représente une menace de plus en plus perceptible pour la viabilité des ménages ruraux d'Afrique subsaharienne où les communautés vivent principalement de l'exploitation des ressources naturelles. La forte pression humaine sur les forêts tropicales du bassin du Congo rend les écosystèmes plus vulnérables aux effets du changement climatique [1]. Le changement climatique engendre d'importantes modifications environnementales, à l'image des longues périodes sèches qui réduisent le couvert végétal et les rendements agricoles, et favorise l'extension des zones dénudées [2]. Cet amenuisement des ressources naturelles affecte la survie de ces communautés et les expose à l'insécurité alimentaire et la pauvreté.

Selon le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat [3], les conséquences du changement climatique sur les économies des pays d'Afrique sont déjà considérables, et la situation pourrait être encore plus désastreuse vu les prédictions d'augmentation des fréquences d'événements extrêmes avec le réchauffement climatique [4].

En effet, la hausse des températures minimales et maximales, la forte variabilité pluviométrique, les sécheresses intenses et les inondations sont en augmentation dans la région du Nord-Ouest de la RDC depuis la fin des années 1980 [5]. Le Sahel ouest-africain connaît une tendance générale au réchauffement depuis 1950 [3].

Ce réchauffement se traduit par une baisse du nombre des jours et des nuits froids et une hausse des jours et des nuits chauds entre 1960 et 2010 [6]. Pourtant, les événements climatiques extrêmes ont un impact négatif sur l'agriculture, l'élevage et les ressources naturelles sur lesquels repose l'essentiel des économies des pays tropicaux [6].

Dans les pays en voie de développement comme la RD Congo, de nombreuses études ont mis en exergue la perception du changement climatique par les populations locales. En RD Congo par exemple, plusieurs études montrent que les populations locales perçoivent le changement climatique à travers la baisse et les irrégularités pluviométriques, le démarrage tardif de la saison des pluies, et l'arrêt précoce des pluies [7]. Selon le Programme d'Action Nationale d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA) de la RD Congo [7], les plus importants chocs climatiques observés au cours des deux dernières décennies sont les baisses pluviométriques et son inégale répartition, les inondations provenant des fortes pluies exceptionnelles et les vagues de chaleur. Ainsi, les pluies actuelles sont devenues plus intenses et les vents sont plus violents [8]. Au Kenya, les agriculteurs perçoivent la variabilité climatique à travers l'augmentation des températures moyennes, la réduction pluviométrique, le démarrage tardif de la saison des pluies, des séquences sèches plus longues depuis les 20 dernières années [9].

Les producteurs agricoles perçoivent aussi le changement climatique à travers ses impacts négatifs sur la production agricole et le milieu naturel. En effet, les agriculteurs ouest-africains soulignent que la baisse des pluies et les hausses de température expliquent entre 30 et 50 % de la diminution de la production agricole en fonction des cultures et des zones [10]. La mortalité des ligneux, la baisse de la production fruitière, le tarissement précoce des retenues des zones inondées, et la dégradation du couvert végétal sont imputables aux effets néfastes des changements climatiques [2] et aux fortes pressions anthropiques.

En réponse aux conséquences néfastes du changement climatique, les paysans africains ont adopté des stratégies d'adaptation dont les plus répandues en RD Congo sont: l'adaptation variétale, l'utilisation de la fumure organique et la modification des dates de semis. En Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, les mesures d'adaptation des ménages agricoles face à la variabilité climatique sont l'adoption des variétés de cultures améliorées, la forte utilisation d'engrais, l'investissement dans l'amélioration des pratiques de gestion des terres et le changement du calendrier des activités agricoles [11].

Tous ces travaux ont permis d'appréhender les perceptions du changement climatique, ses impacts environnementaux et agricoles, et les mesures d'adaptation des producteurs agricoles. Cependant, il manque une étude sur les relations de cause à effet entre ces aspects qui puisse permettre de mieux comprendre sur quoi se fonde l'adaptation des producteurs agricoles au changement climatique dans les zones forestières d'Afrique. Des connaissances relatives à ces aspects sont importantes pour la science et permettront de mieux cibler les politiques d'appui à la résilience des populations rurales face au changement climatique dans les pays en voie de développement.

La région de lac Tumba, zone aux inondations saisonnières, est l'une des régions déficitaires en production de céréales et des maniocs à cause des contraintes agropédoclimatiques [7]. Les populations locales sont ainsi exposées à des risques d'insécurité alimentaire et de pauvreté croissante à cause de leur faible capacité d'adaptation au changement climatique. Une étude combinant les aspects de la perception du changement climatique, des modifications environnementales et des stratégies endogènes d'adaptation est nécessaire pour bien comprendre comment les communautés rurales de cette région font face aux conséquences néfastes de la variabilité et du changement climatiques. Elle permettra également d'identifier les facteurs déterminants de la perception et de l'adaptation. L'intérêt de cette étude est de contribuer au renforcement des capacités d'adaptation et de résilience des populations rurales face au changement climatique par la formulation de nouvelles stratégies basées sur les savoirs endogènes.

Cette étude a ainsi pour objectifs de: (i) analyser les perceptions du changement climatique par les petits producteurs agricoles de la région du Lac Tumba en République Démocratique du Congo, ses conséquences négatives sur l'environnement et la production agricole;

(ii) comprendre les stratégies et les pratiques endogènes d'adaptation de ces populations face au changement climatique; (iii) identifier les facteurs déterminants de la perception et de l'adaptation au changement climatique, et (iv) montrer comment les perceptions du changement climatique et de ses impacts environnementaux par les petits producteurs, et selon les moyens dont ils disposent, expliquent leurs stratégies d'adaptation.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La région étudiée se situe dans la partie Nord du Lac Tumba, qui est localisée au centre de la République Démocratique du Congo en pleine cuvette centrale congolaise (00° 44'-00° 47' S, 018° 07'- 018° 15' E), dans le Secteur du Lac Ntomba, District de l'Equateur dans la Province de l'Equateur [12]. Le Lac Tumba est l'un des lacs peu profonds de la République Démocratique du Congo. Il est localisé à proximité du Fleuve Congo dans lequel il se déverse par le chenal d'Irebu, à 18° de longitude Est et 0° 45' de latitude Sud [12]. La végétation appartient au domaine de la forêt ombrophile guinéo-congolaise, avec des végétations de type inondé ou inondable [13]. Le climat est de type continental chaud et humide, de type Afi, selon Köppen. La pluviosité moyenne annuelle s'élève à 2 000 mm, avec une courte saison sèche de juin à août. La température moyenne annuelle mesurée à Bikoro est de 24,5°C, les moyennes annuelles variant de 20°C la nuit, à 32°C le jour [13], [14].

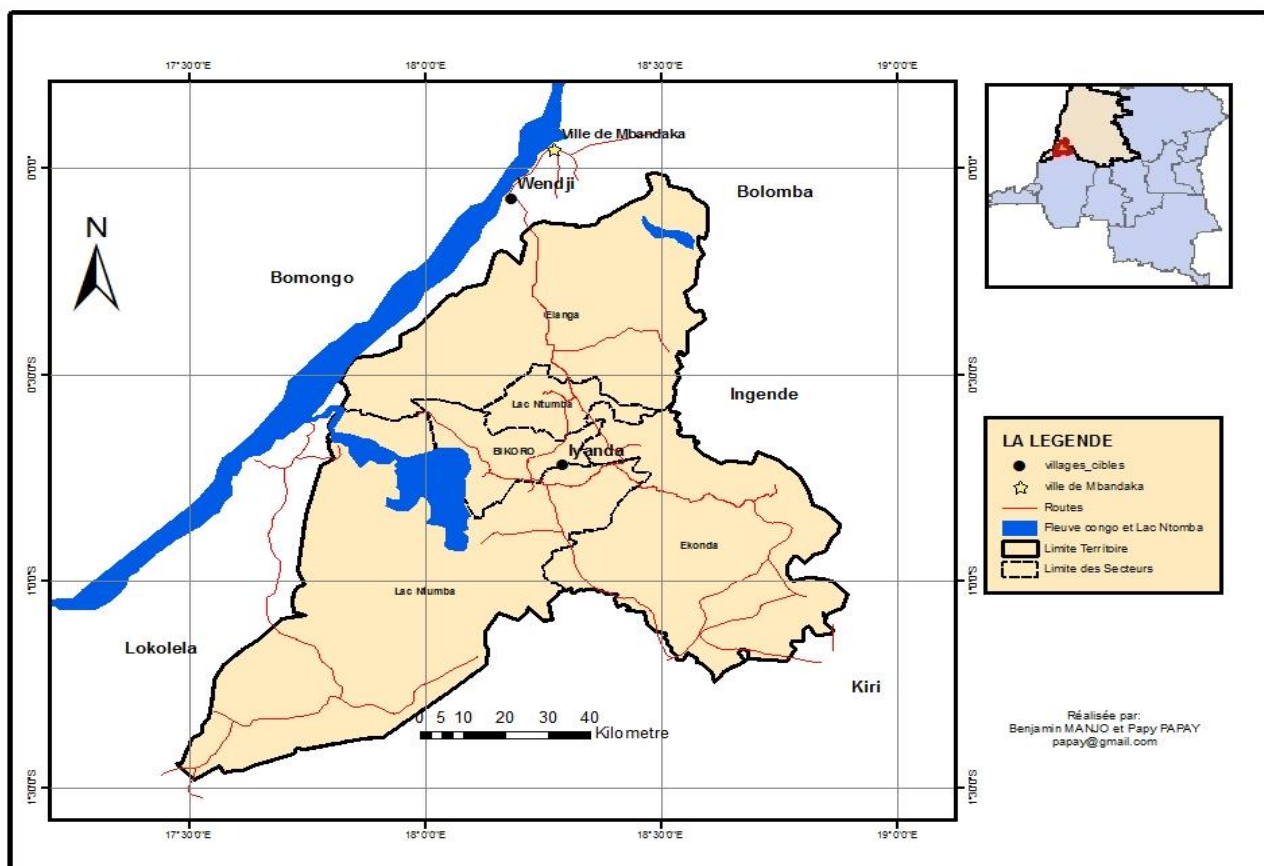


Fig. 1. Situation de lac Tumba dans la province de l'Equateur en République Démocratique du Congo

Source: Mandjo et Papay

La figure 1 montre la situation géographique du secteur Ntomba, territoire de Bikoro dans la province de l'Equateur.

2.2 METHODOLOGIE

Cette étude repose sur une mise en perspective des relations entre, d'une part, les perceptions endogènes du dérèglement de la saison des pluies et les caractéristiques socio-économiques des ménages, leur environnement physique et institutionnel, et, d'autre part, des relations de cause à effet entre les éléments de la perception et le milieu biophysique. Elle met également en relation les éléments

de la perception, les caractéristiques socio-économiques des ménages et les stratégies d'adaptation des petits producteurs agricoles de la région du Lac Tumba face au changement climatique. Pour ce faire, l'étude part du constat que les stratégies adaptatives des populations agricoles au changement climatique dépendent d'une perception adéquate de l'existence de ce phénomène et de ses causes, de ses impacts négatifs sur le milieu biophysique, et des moyens dont ils disposent pour y faire face. Plusieurs études montrent que la perception est influencée par les caractéristiques socio-économiques des ménages agricoles [15], [16], [17], [18]. Les paysans perçoivent le changement climatique à travers les pertes de récolte ou la dégradation des sols [19], la déforestation [2], ou la forte connexion à leur environnement naturel [10]. L'adaptation est aussi influencée par les caractéristiques socio-économiques des ménages [17], et par l'environnement physique et institutionnel des paysans [3]. La mise en perspective entre les différentes variables s'est faite à l'aide des méthodes de statistiques descriptives et de régressions logistiques binaires, qui permettent d'analyser les facteurs déterminants de la perception du dérèglement pluviométrique et de l'adoption des stratégies d'adaptation.

2.3 COLLECTE DES DONNEES

Des enquêtes ont été réalisées dans 05 villages du secteur Ntomba, territoire de Bikoro dans la province de l'Equateur (Figure 1). Le choix de ces sites a tenu compte des critères de variabilité pluviométrique et de vulnérabilité au changement climatique. Dans chacun des villages du secteur, 30 ménages agricoles ont été sélectionnés de façon aléatoire parmi une liste de personnes. Les ménages cibles sont composés essentiellement des paysans petits producteurs agricoles. Les petits ménages agricoles et les fermiers vivants dans les zones rurales sont conscients des changements du climat à l'échelle locale [16]. Le chef de ménage doit avoir un âge supérieur ou égal à 45 ans. Ce critère d'âge s'explique par le fait que l'évolution du climat est très lente et ce sont des personnes adultes qui peuvent l'avoir expérimentée. Le chef de ménage doit également avoir vécu au moins 15 ans dans la localité. On suppose aussi qu'à 15 ans, un individu est capable de mémoriser certains faits marquants de l'évolution du climat et des modifications du milieu naturel depuis plus de 30 ans et les révéler. Les données ont été collectées durant les années 2017, 2018 et 2019. Nous avons enquêté 150 producteurs agricoles (composés d'hommes et de femmes) à l'aide d'un guide d'entretien (soit 15 focus groups). Ces groupes variaient de 8 à 12 personnes dans chacun des villages. Trente personnes sélectionnées et qui comprennent autant des hommes que des femmes ont répondu à un questionnaire individuel comportant des questions fermées et ouvertes.

Les questions ont porté sur la perception des indicateurs du changement climatique (Tableau 1) et des indicateurs d'impacts environnementaux et agricoles. Les indicateurs de changement climatique sont les paramètres météorologiques dont leur évolution dans le temps traduit le changement climatique. Il est à noter que les questions posées aux producteurs sur leur perception du changement climatique sont en cohérence avec les indices de l'*Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI) [3]. Ces indicateurs sont les précipitations totales annuelles, les pluies intenses, les températures maximales et minimales journalières.

Tableau 1. Liste des paramètres climatiques et des indicateurs liés à la variabilité et au changement climatiques

Paramètres climatiques	Indicateurs liés au changement climatique
Pluviométrie	Baisse des pluies, intensité, irrégularité, début tardif, arrêt précoce, fréquence et durée des séquences sèches
Températures	Jours chauds, nuits chaudes, jours froids, nuits froides, durée de la période froide
Vents	Violence et fréquence

Les indicateurs d'impacts environnementaux sont les signes perceptibles de la dégradation du milieu biophysique sur la végétation naturelle, les terres agricoles, les productions végétales et leurs causes.

Les statistiques descriptives telles que la moyenne et les fréquences des variables étudiées ont été calculées avec le logiciel SPSS® 20.0. Nous avons comparé les informations du passé (plus de 30 ans) relatives aux paramètres météorologiques avec celles des 15 dernières années afin de mettre en exergue le changement climatique. Cette comparaison a également permis de savoir si les producteurs ont constaté durant ces dernières années une augmentation ou une baisse de la pluie dans leur zone.

L'équation du modèle binaire se présente comme suit:

$$Y_i = x_i \beta + \epsilon_i \quad (1)$$

Où

- Y_i est la variable latente qui prend la valeur 1 si le producteur perçoit le dérèglement de la saison des pluies et 0 s'il ne le perçoit pas;
- X_i désigne les variables explicatives indiquant les facteurs qui influencent la perception paysanne de ce dérèglement de la saison et,
- ϵ_i est l'erreur standard.

Les variables explicatives de ces régressions (Tableau 2) sont les caractéristiques socio-économiques des ménages que sont: le sexe du chef de ménage (Sexe), son âge (Âge), son niveau d'instruction (Éducation), son appartenance à une organisation paysanne (OP), la taille du ménage (Taille) [18], et la superficie cultivée [17]. Le tableau 2 présente les variables explicatives de ce modèle et les signes attendus des paramètres.

Tableau 2. Les effets marginaux de la régression logistique binaire sur les facteurs déterminants de la perception paysanne du dérèglement de la saison des pluies

Variables	Type de variables	Description	
Perception	Qualitative	Variable dépendante : 1 s'il y a perception et 0 sinon	
Âge	Quantitative	Nombre d'années du chef de ménage	Positif
Sexe	Qualitative	Prend la valeur 1 si le producteur est de sexe masculin et 0 sinon	Positif
Niveau d'Éducation	Qualitative	Prend la valeur 1 si le producteur est au moins alphabétisé et 0 sinon	Positif
Appartenance à une organisation paysanne	Qualitative	Variable binaire: 1 si le producteur appartient à une organisation paysanne et 0 sinon	Positif
Taille du ménage	Quantitative	Nombre de personnes en charge dans le ménage	Positif
Apport aux intrants agricoles	Qualitative	Prend la valeur 1 si le producteur bénéficie des intrants et 0 sinon	Positif ou négatif
Accès au crédit	Qualitative	Prend la valeur 1 si le producteur a accès au crédit et 0 sinon	Positif ou négatif

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES MENAGES

La population enquêtée est constituée de 81 % d'hommes et 19 % de femmes (Figure 2). L'âge moyen des chefs de ménage est de 44 ans. La taille moyenne du ménage est de 8 personnes. Près de la moitié (45,6 %) des chefs de ménage est analphabète. L'agriculture de subsistance est la principale activité économique dans la région (85,1 %). L'élevage et le maraîchage constituent des activités secondaires pratiquées respectivement par 22,9 % et 9,7 % de la population. La majorité des producteurs (85,1 %) sont orientés vers la subsistance seuls 14,3 % sont intéressés à la rente. La moitié des ménages (55 %) est membre d'une organisation paysanne (OP). Seulement 15% des producteurs ont déjà bénéficié d'une formation sur les techniques agricoles. Le taux d'équipement moyen en matériels agricoles des ménages est de 88 %, équipés essentiellement des pelles, houes, machettes et haches et 63 % des producteurs possèdent des vélos pour évacuation de leurs produits.

Les éleveurs de petits ruminants et des porcins représentent respectivement 12 % et 8 % de la population. Les éleveurs de gros ruminants n'existent presque pas dans cette région forestière. Près de la moitié des producteurs (49,8 %) ont accès aux variétés améliorées, et les engrais minéraux ne sont presque pas utilisés. Aucune subvention de l'Etat existe pour les intrants agricoles. Aucun de producteurs n'a pas accès au crédit agricole. Cette difficulté d'accès au crédit ne favorise pas des investissements conséquents pour une agriculture plus intensive dans la région.

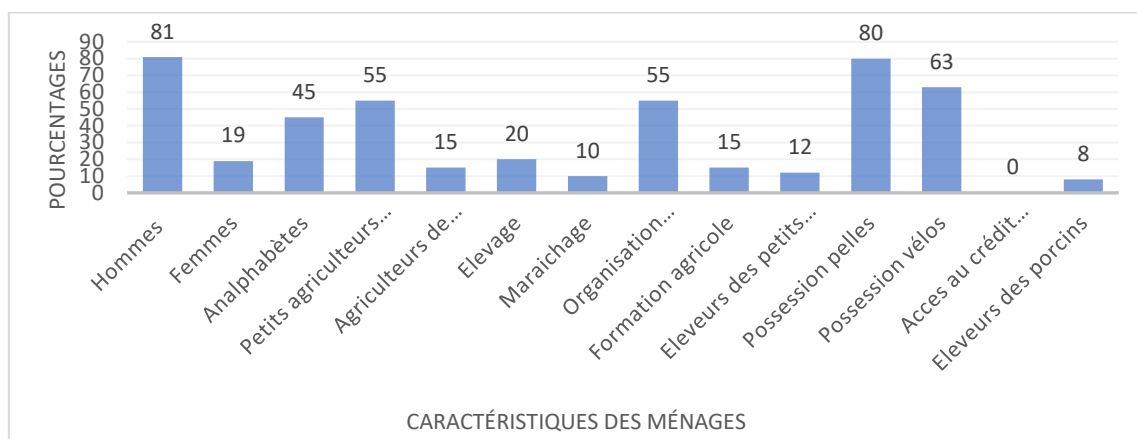


Fig. 2. Caractéristiques socio-économiques des ménages dans la région du Lac Tumba

La figure 2 montre les caractéristiques socio-économiques des ménages de la région du Lac Tumba dans la province de l'Equateur en RD Congo.

3.2 PERCEPTION DES INDICATEURS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.2.1 INDICATEURS DE CHANGEMENT DES PRECIPITATIONS

Les populations locales se souviennent d'une pluviométrie abondante et régulière dans le passé et des saisons de pluie plus longues. Lorsque les populations affirment que: « *Auparavant, lorsque nous constations le matin que le ciel est nuageux, nous étions sûrs qu'il allait pleuvoir dans la journée* ». Ce résultat traduit une régularité des pluies. Ces pluies étaient fines et pouvaient durer plusieurs heures dans la journée. Actuellement, les populations locales constatent un dérèglement de la saison des pluies. En effet, 81,7 % des personnes interrogées constatent une baisse des précipitations annuelles et 63,5 % trouvent que les pluies sont irrégulières (Figure 3).

La mention élevée (92 % des réponses) de pluies avortées traduit cette irrégularité. Certaines personnes évoquent même cette variabilité pluviométrique d'un village à un autre. Les saisons de pluie connaissent un démarrage tardif et une fin plus précoce selon respectivement 85,3 % et 91,8 % de la population. Cet arrêt précoce intervient parfois vers la période de floraison-maturation des cultures. Selon les populations, « *Il manque souvent deux à trois pluies bien réparties dans le temps pour permettre aux cultures pluviales de boucler leur cycle* ». Les pluies actuelles sont plus fortes et ne durent que quelques instants au cours de la journée. Les séquences sèches sont plus fréquentes et d'une longue durée. Les plus observées par les populations sont celles de [16-17] et de [18-20] jours à cause de leurs impacts négatifs sur les cultures pluviales. Une séquence sèche est un jour ou une période sans pluie. Elle prend fin à la veille de la prochaine pluie. Les années pluvieuses et les années sèches ont connu une alternance durant ces 15 dernières années. Cette alternance est perçue à travers ses impacts positifs ou négatifs sur les rendements agricoles. Les populations ne perçoivent pas une hausse des précipitations durant ces dernières années dans leur région, mais plutôt l'occurrence des extrêmes pluviométriques.

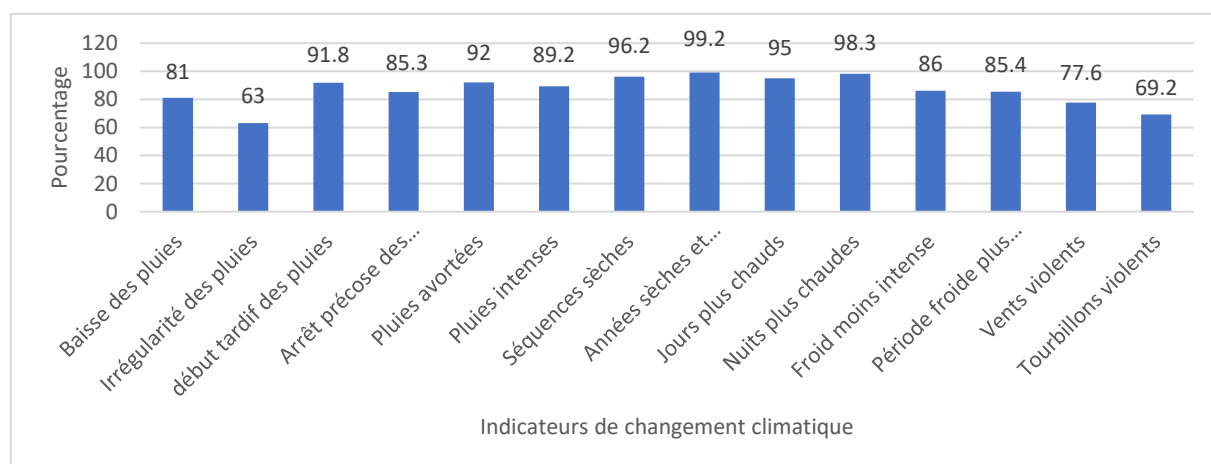


Fig. 3. Indicateurs de perception du changement climatique dans la région du Lac Tumba

La figure 3 montre les indicateurs de perception du changement climatique dans la région du Lac Tumba dans la province de l'Equateur en RD Congo.

3.2.2 INDICATEURS DE TEMPERATURES EXTREMES

Les populations reconnaissent que les jours et les nuits sont de plus en plus chauds (Figure 3). Ces résultats traduisent une hausse des températures maximales et minimales journalières observées pendant toute l'année. La perception locale indique que la saison froide classique de l'autre fois se réchauffe (95,3 % des personnes enquêtées) et tend à se raccourcir (86 % des personnes enquêtées). Les populations perçoivent le réchauffement des températures à travers ses impacts sur leurs activités. Les fortes températures des mois de décembre, janvier et février influencent la préparation des champs (défrichage, incinération, etc.).

3.2.3 FACTEURS DETERMINANTS DE LA PERCEPTION DU CHANGEMENT DES PRECIPITATIONS

La perception paysanne du changement climatique est influencée par les caractéristiques socio-économiques des ménages. Les effets marginaux des régressions logistiques binaires sur les déterminants de la perception paysanne du dérèglement de la saison des pluies démontrent que le pourcentage de bonne prédiction de ces modèles est respectivement de 76,67 % pour le début tardif de la saison, 77 % pour la baisse et 92,67 % pour l'arrêt précoce des pluies. Ces valeurs traduisent un choix judicieux des variables prédictives. La variable Education affecte positivement la perception du début tardif des pluies au seuil de 21 %. Les plus instruits s'intéressent davantage aux dates du calendrier. Les moins instruits ne font pas trop la différence entre une saison précoce ou tardive. La Taille du ménage influence positivement la perception de la baisse et du début tardif de la saison des pluies au seuil de 3 %. Les chefs des grands ménages perçoivent plus la baisse et le démarrage tardif des pluies que les chefs de petits ménages. La variable *Organisation paysanne* influence positivement la perception de la baisse pluviométrique au seuil de 10 %, et négativement le début tardif et l'arrêt précoce des pluies. Les groupements villageois ont l'avantage de bénéficier des informations ou des formations sur l'adaptation au changement climatique dispensées le plus souvent par les agents de vulgarisation agricole, les structures de recherche, les organisations non gouvernementales (ONG) ou les projets de développement rural.

3.2.4 PERCEPTION DES INDICATEURS DE MODIFICATIONS ENVIRONNEMENTALES

Les paysans interrogés ont identifié quelques indicateurs de modifications environnementales dans leur milieu. La présence des ravines d'érosion (10 %), la prolifération du *Chromolaena sp.* (17 %) dans les champs, l'apparition et l'extension des savanes (47,2 %) sont des indicateurs de la dégradation des terres agricoles cités par les producteurs. L'augmentation des herbacées (18,7 %), le dessèchement (18,7 %) sont les signes visibles de la dégradation des terres sur la végétation naturelle. La faiblesse des rendements agricoles (60,7 %) est un indicateur de la dégradation des sols. Les causes de ces modifications sont principalement la baisse des pluies (75 %), l'action des vents violents (22,2 %), l'érosion hydrique (28,3 %) et le déboisement intensif (41,5 %). A celles-ci s'ajoutent les pratiques agricoles néfastes telles que l'absence ou la réduction de la période de jachère, les feux de brousse, les faibles apports de fertilisants organiques, l'absence de formation sur les techniques agricoles et non apport en intrants, etc. (Tableau 3).

Tableau 3. Paramètres et indicateurs de modifications environnementales

Paramètres	Indicateurs de modifications environnementales
Pédologiques	Apparition et extension des savanes Apparition et extension des ravines d'érosion
Écologiques	Apparition et prolifération du <i>Chromolaena sp.</i> dans les champs Augmentation des herbacées Dessèchement des arbres
Agronomiques	Faiblesse des rendements agricoles

Les producteurs perçoivent les impacts de la variabilité climatique sur leurs productions à travers la faiblesse des rendements. Ainsi, 69 % des producteurs ont constaté une baisse des rendements du sorgho et du mil durant les 15 dernières années. Selon ces derniers, cette baisse est en grande partie imputable à l'arrêt précoce des pluies (68 %), aux séquences sèches (40,3 %), mais aussi à la baisse de la fertilité des sols (46,7 %), l'action des vents violents (18,7 %) et aux évasions de *Chromolaena sp.* (19,3 %) (Figure 4). En revanche, 15 % des producteurs ont plutôt constaté une hausse des rendements céréaliers. Selon eux, cette hausse est imputable à l'utilisation des techniques CES/DRS, de la fumure organique et des variétés de semences améliorées. La quasi-totalité des producteurs (91 %) a adopté de nouvelles cultures ou variétés de cultures. Il s'agit des variétés traditionnelles à cycle court ou des variétés de semences améliorées. Certains producteurs (16 %) ont observé une variation des rendements céréaliers en fonction des années dans leurs localités. Les producteurs agricoles n'ont pas la même appréhension de l'impact de la variabilité climatique sur leurs productions.

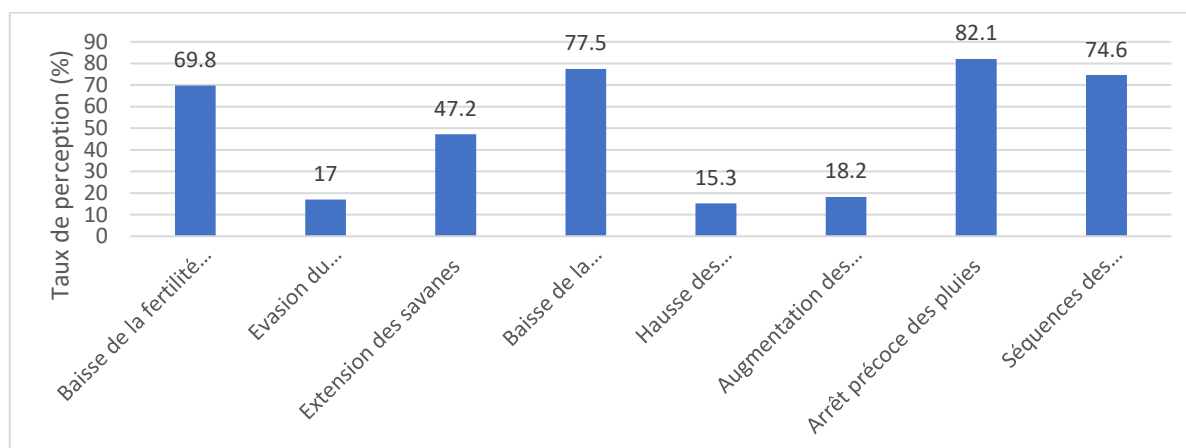


Fig. 4. Perception des facteurs affectant les rendements agricoles dans la région du Lac Tumba

La figure 4 montre la perception des facteurs affectant les rendements agricoles dans la région du Lac Tumba dans la province de l'Equateur en RD Congo.

3.2.5 PRATIQUES PAYSANNES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les petits producteurs agricoles de la région du Lac Tumba ont adopté plusieurs pratiques pour s'adapter au changement climatique (Figure 5). Les producteurs ont abandonné certaines cultures de rente jadis très lucrative comme les plantations du cacaoyer et du caféier au profit du maïs et du manioc. De même, les variétés à cycle long de manioc ont été remplacées par des variétés à cycle court. Les raisons de cet abandon sont les séquences sèches récurrentes et la baisse des pluies. On constate également l'adoption de nouvelles cultures comme les ignames et l'*Arthocarpus altilis* (Arbre à pain). La culture des ignames qui sont généralement pratiquées dans le territoire de Bumba, zone riveraine du fleuve Congo et plus en amont du Lac Tumba, est adoptée dans cette région. Les raisons évoquées par les producteurs sont les changements dans les habitudes alimentaires des populations, les ignames et les fruits de l'arbre permettent de couvrir la période de soudure et lutter contre l'insécurité alimentaire. Les producteurs ont aussi opéré des changements dans les systèmes de culture d'arachide et du maïs. L'arachide était souvent cultivée en association avec le maïs. Ces deux spéculations tendent à occuper des parcelles séparées surtout avec l'utilisation des variétés améliorées. L'arachide et le maïs bénéficient d'une forte demande sur les marchés local, national et international. Les producteurs s'orientent également vers les bas-fonds pour la production des cultures maraîchères qui procurent des ressources supplémentaires importantes pour l'économie des ménages.

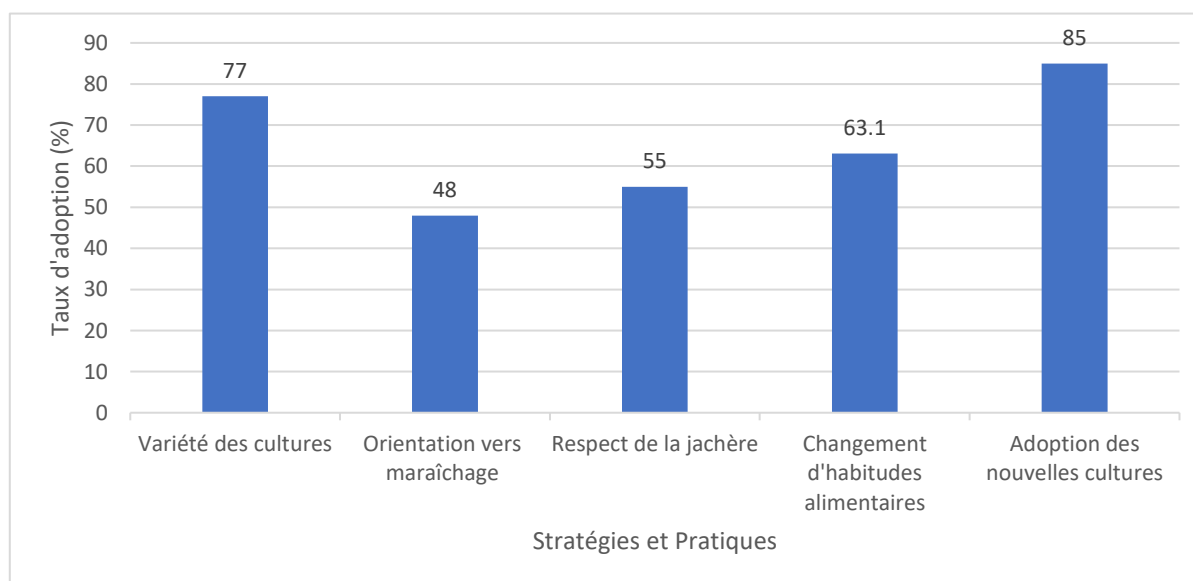


Fig. 5. Pratiques paysannes d'adaptation au changement climatique dans la région du Lac Tumba

La plupart des producteurs (77%) ont réagi en adoptant la variété des cultures. Les petits élevages sont de plus en plus intégrés à l'agriculture. Les déjections des animaux et les ordures ménagères sont utilisées dans la production de la fumure organique utilisée dans les jardins maraichers. L'adoption des nouvelles cultures telles que les ignames et l'arbre à pain permet de couvrir la période de soudure et la vente des ignames permet l'achat des vivres. La jachère est encore respectée par 55,3 % des producteurs avec une durée de trois à quatre ans. Elle tend à diminuer à cause de la forte pression humaine sur les terres cultivables. Pour répondre à l'arrêt précoce des pluies, l'acquisition d'une parcelle au bas-fond. La pratique de maraichage, autour des cités comme Bikoro ou Mbandaka se fait le plus souvent par métayage. Ces revenus leur permettent de subvenir à leurs besoins sociaux (nourritures, soins de santé, scolarisation des enfants, ...).

3.2.6 FACTEURS QUI DETERMINENT L'ADOPTION DES STRATEGIES D'ADAPTATION

L'adoption de mesures d'adaptation au changement climatique est en partie guidée par la perception paysanne de ce phénomène. Les effets marginaux des régressions logistiques binaires sur les facteurs déterminants de l'adaptation au changement climatique. Le pourcentage de bonne prédiction de ces modèles est de 58,2 % pour l'adoption des nouvelles cultures et 67,5 % pour le maraichage. Les variables Baisse et Tardif affectent la probabilité d'adoption de culture d'ignames. La baisse et le début tardif des pluies peuvent provoquer des pertes de rendement affectant ainsi le revenu agricole des producteurs. Les variables *Irrégularité* et *Précoce* influencent négativement et de façon respective la pratique de maraichage. Le changement d'habitudes alimentaires est influencé par les effets néfastes du changement climatique.

4 DISCUSSION

Les travaux antérieurs réalisés par les équipes de Sarr et de West [19], [5] et confirment la perception du changement climatique par les populations de la Région du Lac Tumba du Centre de la RDC à travers la baisse et l'irrégularité des pluies, le démarrage tardif de la saison des pluies, l'arrêt précoce des pluies, la fréquence plus élevée des séquences sèches. Les pauses pluviométriques ordinaires moyennes (8 à 14 jours) et majeures (15 jours) sont plus fréquentes dans les zones soudanienne et sahélienne de l'Afrique de l'Ouest [20]. Une récente étude réalisée par l'Université d'Oxford détermine les impacts prévisibles du changement climatique sur les forêts tropicales de l'Afrique Centrale [21]. Cette étude montre qu'avec l'augmentation de la température de surface océanique il est fort possible que les précipitations augmentent (+24mm à +2°C et +80mm à +4°C), avec toutefois de fortes disparités régionales, et surtout une possible accentuation de la saison sèche (en intensité et en longueur). Ceci nuirait évidemment au maintien de la forêt dans son état actuel comme cela est indiqué par les études sur les relations passées entre climat et végétation. La période 1994-2015 est caractérisée par une alternance des années sèches et des années humides, traduisant une variabilité interannuelle plus forte de la pluviométrie dans la région [22]. Les mois de janvier, août et septembre deviendront plus chauds [7]; et les mois de novembre et de mars connaîtront également de faibles hausses de température [7]. Cette étude met en exergue une tendance à l'accentuation des événements climatiques extrêmes (pluies intenses, hausses de température, violence des vents) durant ces dernières années dans la région. En effet, on prédit une augmentation des fréquences d'événements climatiques extrêmes avec le réchauffement climatique [4]. Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat prévoit également que les phénomènes climatiques extrêmes deviendront plus fréquents et plus intenses durant les prochaines décennies en Afrique centrale [3]. Au vu de ces prédictions, on peut dire que les perceptions du changement climatique par les populations locales de la région du Lac Tumba sont en adéquation avec les tendances climatiques.

La perception d'un changement dans la configuration des précipitations augmente avec le niveau d'éducation du producteur et le niveau d'éducation influence beaucoup sur la perception des populations rurales du changement des précipitations [23]. La taille du ménage influence significativement les perceptions locales de la baisse et du début tardif de la saison. Avec les séquences sèches de plus en plus longues et récurrentes aggravées par la baisse de la fertilité de la majorité des sols qui occasionnent des pertes de rendements, les ménages de taille importante ne sont plus en mesure de satisfaire la demande en nourriture de leur grande famille. Cette situation plonge les producteurs dans la préoccupation d'attente du démarrage de la saison des pluies suivante. C'est pourquoi les ménages dont les conditions d'existence dépendent du climat arrivent à détecter plus facilement les changements en début de saison que les modifications dans la distribution des pluies et la fréquence des sécheresses [16].

Chez les éleveurs Turkana du Nord-ouest du Kenya, la possession du bétail et la taille du troupeau influencent la perception du changement climatique [17]. Un producteur qui appartient à une organisation paysanne a plus d'avantages d'être informé sur le changement climatique et ses effets négatifs sur l'environnement. En effet, ces organisations sont des cadres d'échanges et de formation. L'information circule plus facilement entre les membres de ces groupements [24].

Les producteurs ont majoritairement constaté une baisse des rendements de maïs. L'arrêt brutal des pluies empêche les cultures de boucler leur cycle. De même, les séquences sèches qui surviennent au cours de la phase de remplissage des grains affectent sensiblement le rendement [16]. Par ailleurs, la forte pression du *Chromolaena sp.* est une contrainte agricole majeure. Les vents violents causent des dégâts sur les récoltes [16]. Dans les régions semi-arides du Burkina Faso, du Tchad et du Niger, les producteurs ont également constaté une baisse des rendements du mil et du sorgho. Cette diminution est imputable aux effets néfastes de la variabilité et du changement

climatiques, et la baisse de la fertilité des sols [5]. Dans la zone aride du nord-ouest du Bénin, les paysans ont aussi constaté une baisse des rendements de l'igname (culture vivrière de grande importance) imputable aux changements climatiques [18].

Pour s'adapter aux récents effets négatifs du changement climatique, les producteurs ont mis en place des stratégies et des pratiques. Les plus importantes sont l'adoption des nouvelles cultures et l'adaptation variétale. Les superficies aménagées pour les cultures maraîchères ont connu une extension durant ces dernières années dans la région. Il y a eu un renforcement des capacités des producteurs par des formations qui a suscité un engouement pour cette pratique. Les producteurs qui disposent des parcelles dans les périmètres et bas-fonds aménagés sont plus influencés par la pratique de maraichage qui est une activité génératrice de revenus. Par contre le non accès aux crédits et aux intrants, et pourtant stratégies d'adaptation très prometteuses, sont facteurs limitant des investissements conséquents pour s'adapter aux effets du changement climatique.

5 CONCLUSION

Les impacts du changement climatique sur les activités agricoles dans les zones tropicales humides d'Afrique centrale sont difficilement quantifiables du fait de la complexité des paramètres des modèles globaux. Les populations de la région du Lac Tumba perçoivent le changement climatique à travers la baisse des pluies, les hausses de température, les séquences sèches et dans une certaine mesure sur la violence des vents. Ces aléas climatiques ont un impact négatif sur le milieu biophysique avec des répercussions sur la production agricole. Cette étude a montré que les caractéristiques socio-économiques des ménages influencent les perceptions locales du changement climatique et l'adoption d'une pratique d'adaptation. Les principales stratégies d'adaptation sont l'adoption des nouvelles cultures et l'adaptation variétale. L'utilisation de la fumure organique, si, elle est divulguée dans la région pourra permettre la réhabilitation des terres dégradées en vue d'accroître les rendements agricoles. Les cultures maraîchères procurent des revenus additionnels aux producteurs. L'utilisation des variétés nouvelles ou améliorées permet une intensification de la production agricole. Ces stratégies actuelles développées permettent aux producteurs de rentabiliser leur exploitation. La rentabilité d'une stratégie est importante pour rendre compte de l'efficacité d'adaptation des producteurs aux changements climatiques. L'adoption d'une stratégie d'adaptation par un producteur dépend de sa perception du changement climatique et de ses causes, de ses impacts négatifs sur le milieu biophysique et des moyens dont il dispose pour apporter des solutions. Il y a nécessité de renforcer les capacités d'adaptation et de résilience des producteurs agricoles de la région du Lac Tumba par des formations sur l'adaptation au changement climatique au sein des organisations paysannes. Celles-ci contribuent à améliorer leur perception de ce phénomène et les aident à mieux développer leurs stratégies d'adaptation. L'information climatique est nécessaire pour leur permettre d'augmenter leur production agricole en vue d'atteindre la sécurité alimentaire. En perspectives, il est primordial d'innover les pratiques agricoles actuelles ou de rechercher de nouvelles pratiques d'adaptation pour les producteurs de cette région. Les indicateurs endogènes de prévision climatique saisonnière sont à promouvoir davantage, car ils permettent aux producteurs agricoles de prévoir le déroulement de la saison des pluies et les orientent mieux dans la mise en place de leurs stratégies et pratiques d'adaptation au changement climatique.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce aux concours des populations des différentes localités de la région du Lac Tumba de la République Démocratique du Congo que nous remercions pour leur collaboration.

REFERENCES

- [1] K. Rasmussen, B. Fog et J.E. Madsen, Desertification in reverse ? Observations from northern Burkina Faso, *Global Environ Change*, 11, pp. 271-282, 2001.
- [2] D. Bambara, A. Bilgo, E. Hien, D. Masse, A. Thiombiano et V. Hien, Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio-environnementales à Tougou et Donsin, climats sahélien et sahélo-soudanien du Burkina Faso, *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 74, pp. 8-16, 2003.
- [3] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K. et Reisinger A. (publié sous la direction de)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 p., 2007.
- [4] Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson, *Climate Change 2001: The scientific basis; contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, New York, Cambridge University Press, 2001.
- [5] B. Sarr, S. Atta, M. Ly, S. Salack, T. Ourback, S. Subsol et D.A. Geoges, "Adapting to climate variability and change in smalholder farmin communities: A case study from Burkina Faso, Chad and Niger (CVADAPT)", *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, vol. 7, 1, pp. 16-27, 2015.
- [6] M. Ly, B.S. Traoré, A. Alhassane et B. Sarr, "Evolution of some observed climate extremes in the west African Sahel", *Weather and Climate Extremes*, 1, pp. 19-25, 2013.

- [7] PANA, RDC.
- [8] S. Fossi, D. Ouédraogo, B. Zongo, Y.M. Traoré et K.S. Da Silvera, "Acceptation et vulgarisation de l'irrigation de complément dans la province du Bam, Burkina Faso", *Revue scientifique et technologique*, num. 21 et 22, pp. 29-36, 2013.
- [9] E. Bryan, C. Ringher, B. Okoba, C. Roncoli, S. Silvestri et M. Herrero, "Adapting agriculture to climate change in Kenya: Household strategies and determinants", *Journal of Environmental Management*, 114, pp. 26-35, 2013.
- [10] O. Mertz, C. Mbow, J. Nielsen, A. Maiga, D. Diallo, A. Reenberg, A. Diouf, B. Barbier, I.B. Moussa et M. Zorom, "Climate factors play a limited role for past adaptation strategies in West Africa", *Ecology and Society*, 15, 25 p., 2010.
- [11] S.A. Wood, A.S. Jina, M. Jain, P. Christjanson et R.S. DeFries, "Smallholder farmer croppings decisions related to climate variability accross multiple regions", *Global Environmental Change*, 25, pp. 163-172, 2014.
- [12] Mandjo, B., L., Biodiversité, Alimentation et Santé chez les Pygmées Batwa de la région du Lac Tumba en République Démocratique du Congo. Mémoire de DEA, Université de Kinshasa, Kinshasa, 2010.
- [13] Pagezy, H., The food system of Ntomba of Lake Tumba, Zaire, In: J. Pottier (Ed.), *Food systems in Central and Southern Africa*. London: SOAS, pp. 61-79, 1985.
- [14] M.M. Dhetchuvi, "Biologie et usage de quelques espèces de Marantaceae au Zaïre", *Belg. J. Bot.*, vol.126, no. 2, pp. 209-216, 1993.
- [15] M.N. Uddin, W. Bokelmann et E.S. Dunn, 2017, "Determinants of Farmers' Perception of Climate Change: A Case Study from the Coastal Region of Bangladesh", *American Journal of Climate Change*, 6, pp. 151-165, 2017.
- [16] Kosmowski, F., R. Lalou, B. Sultan, O. Ndiaye, B. Muller, S. Galle et L. Seguis, 2015, Observations et perceptions des changements climatiques: Analyse comparée dans trois pays d'Afrique de l'Ouest. In Sultan B., Lalou R., Sanni M.A. (Editeurs), *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, 89-110, 2015.
[En ligne] URL: <https://books.openedition.org/irdeditions/8946?lang=fr> (23 octobre 2015).
- [17] F., Opiyo, O.V. Wasonga, M.M. Nyangito, S.M. Mureithi, J. Obando et R. Munang, "Determinants of perceptions of climate change and adaptation among Turkana pastoralists in northwestern Kenya", *Climate and Development*, 8, pp. 179-189, 2016.
- [18] Y.L. Loko, A. Dansi, A.P. Agre, N. Akpa, I. Dossou-Aminon, P. Assogba, M. Dansi, K. Akpagana et A. Sanni, "Perceptions paysannes et impacts des changements climatiques sur la production et la diversité variétale de l'igname dans la zone aride du Nord-ouest du Bénin", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7, 2, pp. 672-695, 2013.
- [19] C.T. West, C. Roncoli et F. Ouattara, "Local perceptions and regional climate trends on the Central Plateau of Burkina Faso", *Land degradation & Development*, 11p, 2008.
- [20] S. Salack, B. Muller, A.T. Gaye, F. Hourdin et N. Cisse, "Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal", *Sécheresse*, 23, pp. 3-13, 2012.
- [21] Gond V. & Doumenge C., *Climat et changement climatique en Afrique Centrale in Prospective 2040 des écosystèmes forestiers d'Afrique Centrale*, Rapport technique final, 2012.
- [22] Kaboré et al., 2017.
- [23] K. Sanogo, J. Binam, J. Bayala, G.B. Villamor, A. Kalinganire et S. Dodiomon, Farmers' perception of climate change impacts on ecosystem services delivery of parklands in southern Mali, *Agroforest Syst.*, 17p, 2016.
- [24] Barry, S., 2016, "Déterminants socioéconomiques et institutionnels de l'adoption des variétés améliorées de maïs dans la région du Centre-sud du Burkina Faso", *Revue d'Economie Théorique et Appliquée*, vol. 6, N° 2, pp. 221-238, 2016.
- [25] Pamalba Narcise Kaboré, Bruno Barbier, Paulin Ouoba, André Kiema, Léopold Some et Amadé Ouedraogo, « Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*
[En ligne]: <http://journals.openedition.org/vertigo/24637>, Volume 19 Numéro 1 | mars 2019, mis en ligne le 05 mars 2019, consulté le 21 mai 2021. URL

Repérage, géolocalisation et caractérisation des sites de rejets des scories et boues des fonderies (SBF) qui recyclent la mitraille à Kinshasa : RDC

[Identification, geolocation and characterization of slag and sludge discharge sites from foundries (SBF) which recycle scrap metal in Kinshasa : DRC]

Joseph M. Kakundika¹, Dieudonné E. Musibono¹, Virima Mudogo², and Ndongala Lufimpadio³

¹Département de Science de l'environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

²Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

³Département de Chimie-physique, Faculté des Sciences, Université Pédagogique Nationale, RD Congo

Copyright © 2021 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 iron and steel industries generate large quantities of solid waste which is not always easy to manage because of the heavy metals it contains. In most cases, they are used in concrete or bitumen but sometimes as backfill; however, this always requires rigorous control followed by prior treatment. In general, the installation of a foundry requires the creation of a place to store solid waste (slag heap). The scrap metal foundries in Kinshasa do not have appropriate structures for the evacuation or conservation of their waste. They are satisfied with the environmental failure found in the surroundings to liquidate these dangerous wastes in full view of the competent authorities.

During our investigations carried out in a sector which contains the aforementioned foundries and whose measured surface is 523272 ha, seventy-six sites on which were spread the slags and muds of the recycling foundries of the scrap were located. The calculation made on the estimates of the weight of these scraps indicates that on average a site contains 592 tons of slag and sludge of the said foundries. These are spread over an average area of 923 m² and occupy an average volume of 355 m³. In sum, over an average period of 10 years, nearly 45,000 tons of slag and sludge from the scrap metal foundries have been spread on the streets and avenues of our study area over a total surface area of 7,0152 m² and a relative volume of 26,971 m³.

After analysis of the field data, it appears that Block 4 contains a large quantity of slag and sludge from the foundries but also the largest surface area and volume. This is related to the socio-environmental configuration of the area where not only are there several potholes but also the area has no drainage channels for rainwater (hence the recurrent and persistent flooding).

In the principal component analysis (PCA), the seventy-six sites are divided into three different clusters, the first of which has only one site, the second has six sites, and the last has the majority of sites, namely sixty-nine. The sites in classes one and two are distinguished by variables (weight, area and volume) that are higher than their respective averages, while those in class three are distinguished by data that are lower than their averages.

The evaluation of the daily production of slag and sludge of the said foundries indicates a relative volume of 16 tons. This gives a projected total of 60226 tons of slag and sludge since the installation of these foundries in the city of Kinshasa. The calculation of the difference proves that our study area contains at least 75% of this waste, without counting those contained in third party plots. Furthermore, our investigations attest that a part of the slag and sludge from the foundry that was not evaluated was dumped in the districts bordering our study area, which have similar topographic and environmental characteristics.

KEYWORDS: Site, discharge, slag, sludge, foundries, scrap.

RESUME: Les industries sidérurgiques génèrent d'importantes quantités de déchets solides dont la gestion n'est pas toujours aisée à cause des métaux lourds dont ils sont chargés. Pour la plupart de cas, ils sont utilisés dans les bétons ou les bitumes mais parfois comme remblais; cependant cela nécessite toujours un contrôle rigoureux suivi d'un traitement préalable. De manière générale, l'installation d'une fonderie nécessite la création d'un lieu prévu pour entreposer les déchets solides (terril). Les fonderies de la mitraille qui sont installées à Kinshasa n'ont pas ces structures appropriées d'évacuation ou de conservation de leurs rebuts. Elles

se contentent de la défaillance environnementale trouvée dans les environs pour liquider moyennant frais, ces déchets dangereux au vu et au su des autorités compétentes.

Au cours de nos investigations effectuées dans un secteur qui renferment lesdites fonderies et dont la superficie mesurée est de 523272 ha, soixante-seize sites sur lesquels ont été épandues les scories et boues des fonderies recycleuses de la mitraille ont été repérés. Le calcul fait sur les estimations du poids de ces rebuts indique qu'en moyenne un site renferme 592 tonnes de scories et boues desdites fonderies. Celles-ci sont épandues sur une superficie moyenne de 923 m² et occupe un volume moyen de 355 m³. En somme, sur une période moyenne de 10 ans, près de 45000 tonnes de scories et boues des fonderies de la mitraille ont été épandues dans les rues et avenues de notre zone d'étude sur un espace superficiel totale évalué à 70152 m² et un volume relatif de 26971 m³.

Après analyse des données de terrain, il ressort que le bloc 4 renferme une grande quantité des scories et boues des fonderies mais aussi la plus grande superficie et le plus grand volume. Ceci est relatif à la configuration socio environnementale du milieu où non seulement on trouve plusieurs nids de poules mais aussi le milieu n'a pas des voies d'évacuation des eaux de pluie (d'où les inondations récurrentes et persistantes).

En analyse par composantes principales (ACP), les soixante-seize sites se partagent trois classes différentes (clusters) dont le premier compte seulement un site, le second six sites et le dernier en compte la majorité de sites notamment soixante-neuf. Les sites des classes un et deux se distinguent par des variables (poids, superficie et volume) supérieur à leurs moyennes respectives tandis que ceux de la classe trois s'individualisent par des données inférieures à leurs moyennes.

L'évaluation de la production journalière des scories et boues desdites fonderies indique un volume relatif de 16 tonnes. Ce qui donne une projection du total de 60226 tonnes des scories et boues depuis l'installation desdites fonderies dans la ville de Kinshasa. Le calcul de la différence prouve que notre zone d'étude renferme au moins 75% de ces rebuts sans compter ceux contenus dans des tierces parcelles. Par ailleurs, nos investigations attestent qu'une partie des scories et boues de fonderie non évaluée a été déversée dans les quartiers frontaliers à notre zone d'étude présentant les caractéristiques topo-environnementaux similaires que ce dernier.

MOTS-CLEFS: Site, rejet, scories, boues, fonderies, mitraille.

1 INTRODUCTION

Depuis près d'une décennie et demie on a installé à Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo (RDC), des fonderies qui recyclent la mitraille/ferraille en la transformant généralement en matériaux de construction. Le recyclage en général serait la meilleure solution pour prendre en charge les déchets, celui de la ferraille constitue une industrie propre, écologique et durable [1]. Le recyclage de la ferraille à Kinshasa a apporté des solutions ayant permis de pallier à des problèmes cruciaux qui gangrénéaient, pendant longtemps, non seulement les habitants de ladite ville mais aussi ceux des villes et villages environnants voir même lointains. Parmi ces problèmes, l'on peut citer l'enlaidissement des rues, avenues, routes et autres espaces écotouristiques précieux, les accidents et incidents de circulation routière (automobilistes, motocyclistes, bicyclistes et piétons), la multiplication des bestioles (rats, gecko,...) et des insectes nuisibles (moustiques, cancrelats, mouches,...), le banditisme et la délinquance (juvénile ou sénile) urbains, des blessures avec risque de contamination au tétanos, etc.

Le recyclage est une façon durable de gérer les déchets car permettant d'user un objet pendant une durée relativement longue, celui de la mitraille/ferraille permet en plus de consommer des quantités d'énergie très nettement inférieures à celles nécessaires à l'extraction des métaux à partir de leurs minerais dans les mines. Par exemple, la production d'une tonne d'acier à base de ferraille recyclée réduit de 90 % les émissions de CO₂ par rapport à celles émises par la filière du minerai de fer. Par ailleurs, le recyclage d'une tonne de ferraille d'acier non contaminée permet ainsi de remplacer plus de 1200 kg de minerai de fer, de 7 kg de charbon et de 51 kg de calcaire » [2].

La science apporte des nombreuses solutions à des problèmes cruciaux de société, cependant, la résolution d'un problème ne devra pas générer des situations beaucoup plus amplifiées que celles auxquelles elle a porté solution. Autrement dit, le recyclage de la ferraille doit suivre des pratiques rigoureuses pour ne pas devenir une source de pollution excédentaire, il devra être réellement écologique.

Le système instauré de récupération et de stockage de la ferraille kinoise laisse à désirer, tandis que les résidus de ces fonderies (scories et boues) ne sont pas stockés pour un traitement ultérieur adéquat mais plutôt, plusieurs dizaines de tonnes de ces substances sont épandues dans la nature à travers des opérations de vente/rachat au détriment des populations démunies et victime de l'ignorance scientifique.

C'est autour de ces déchets métallurgiques dits «scories et boues» des fonderies que se fonde l'intérêt de cette étude. S'exprimant à ce sujet, Dimitri écrit: «le devenir des scories métallurgiques est une préoccupation importante. En effet, qu'elles soient entreposées sur un crassier soumis aux intempéries, intégrées à des sols ou sédiments de cours d'eau, ou confinées dans des bétons ou bitumes, elles représentent toujours une source de pollution potentielle pour leur environnement» [3].

Les populations qui les achètent, sans se rendre compte du danger qui les guette en usant pareilles substances à contenus sûrs des métaux ou des métaux lourds en particulier, avec un pouvoir certain de polluer les écosystèmes sur lesquels ils sont jetés et de provoquer des sérieux problèmes de santé à court, moyen et long terme, les utilisent pour essayer de niveler leurs parcelles, rues et avenues à travers des efforts individuels de lutte contre les problèmes cruciaux d'environnement dans leurs milieux respectifs, notamment les inondations récurrentes, les érosions, les nids de poules, etc.

«Tel père, tel fils, a-t-on souvent parlé», la composition des scories, bien qu'ayant d'autres dépendants, reflète celle de la matière première utilisée pour leur production. Les sols où ils sont entreposés, les nappes souterraines et phréatiques, les cours d'eau avoisinants pâtissent de ce manque criant de connaissance, mais aussi l'air est contaminé lorsque souffle le vent et est susceptible de contaminer des paisibles citoyens, même à des longues distances. Ceux qui subissent les conséquences de tout ceci, c'est l'Environnement et l'Homme qui est le consommateur principal de l'Environnement.

Cette première phase de notre étude se propose de (i) repérer et géolocaliser les lieux de rejets de rebuts de fonderies kinois recycleuses de la mitraille; autrement dit identifier les différents sites où sont déjà rejetés les scories et boues desdites fonderies, (ii) mesurer ou dimensionner les espaces remblayés par lesdits scories et boues des fonderies de la mitraille, (iii) réaliser une évaluation approximative des quantités respectives contenues dans chacun de sites repérés et enfin (iv) élaborer une cartographie des sites de rejets desdits scories et boues.

Pour y arriver, une campagne de repérage a été organisée dans le milieu cible (zone d'étude) en période de 15 jours allant du 18 juin au 02 juillet 2020. Cette dernière a été précédée par une entrevue avec ceux qui sont chargés d'évacuer les scories des fonderies aux fins de nous indiquer les différents lieux où ils orientent leurs cargaisons. Ce qui a orienté le choix de la zone d'étude qui n'est rien autre que le lieu topographique où il a été déclaré plusieurs mouvements.

2 ZONE D'ÉTUDE

Notre zone d'étude est circonscrit dans une surface en forme pentagonale, périmétrée entre le pont N'djili (S04°23'224" et E015°21'975") → le pont Matete (S04°22'917" et E015°21'163") → la 14^{ème} rue en passant par l'Echangeur de Limete (S04°21'864" et E015°20'508") → 14^{ème} rue sur l'avenue du Poids Lourd (S04°21'678" et E015°20'994") → le point de croisement du chemin de fer et la route du Poids-Lourd à côté de Kingabwa UZAM (S04°21'450" et E015°20'920") → le pont rail sur la rivière N'djili (S04°21'852" et E015°20'646") → l'allongement de la rivière N'djili jusqu'au point de départ (Pont N'djili) pour boucler la boucle.

Elle s'étend sur une superficie de 523272 ha et comprend les quartiers Salongo et Ndanu en entier et une partie du quartier Industriel, tous dans la commune de Limete tel que présenté dans la carte ci-après:

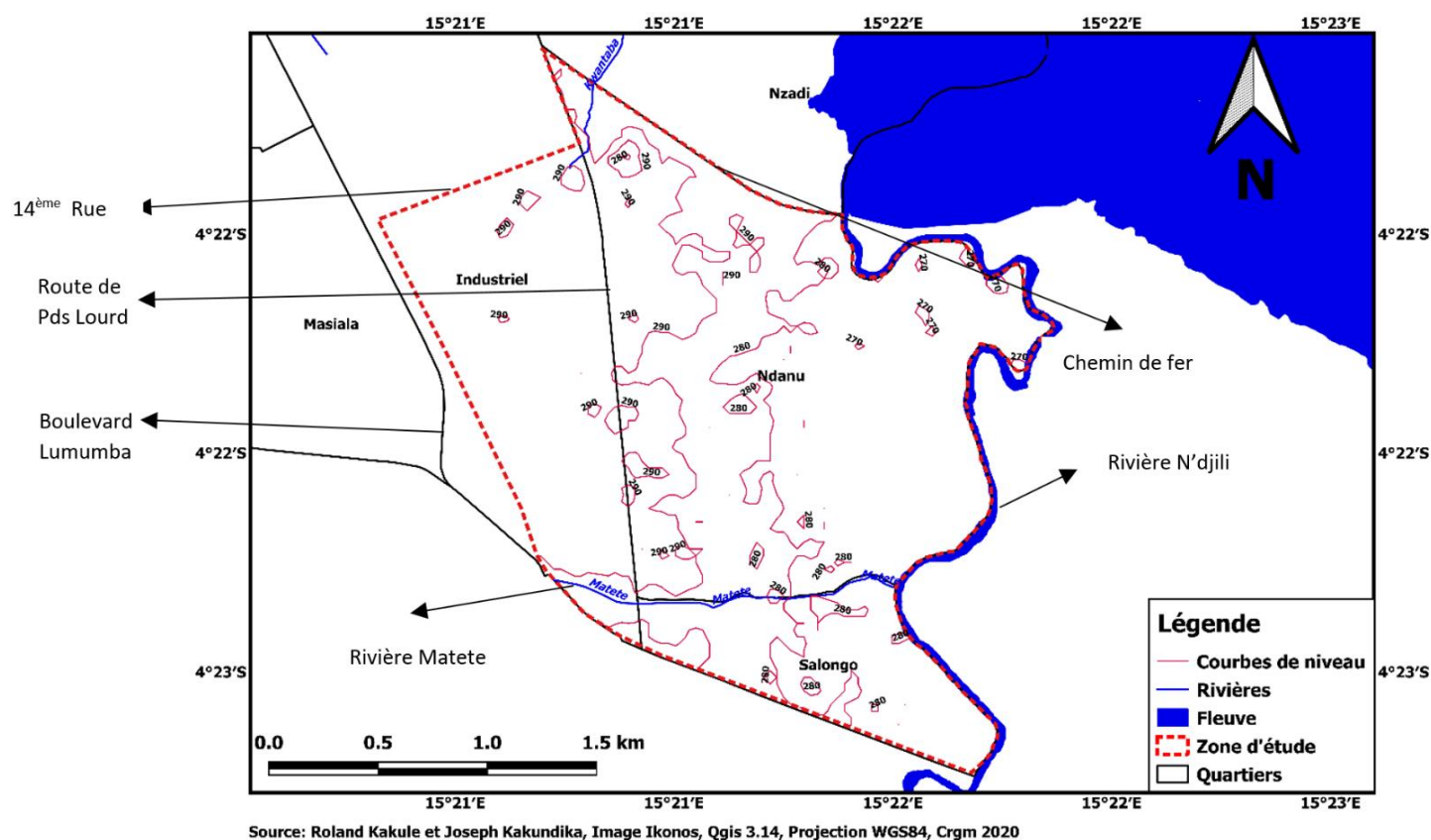


Fig. 1. Zone d'étude

Il s'agit du milieu qui renferme trois fonderies kinois qui ont pour matières premières les mitrilles (déchets métalliques) et dont elles se servent constamment comme lieu de rejet de leurs rebuts.

QUELQUES ASPECTS CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE

Comme déjà signalé et tel que ça se présente clairement dans la carte ci-après, notre zone d'étude est localisée dans deux espaces topographiques différents à savoir: une zone "haute" épargnée des inondations et donc non marécageuse et une zone basse soumise à des inondations récurrentes causées par des crues des rivières N'djili et Matete. Cette partie est constamment humide.

La zone est occupée par une population pour la plupart infortunée, dépourvue de moyens financiers adéquats pour maîtriser leur milieu de vie. Des nombreuses constructions ne répondent pas aux normes urbanistiques. On y observe l'inexistence des voies d'évacuation des eaux usées. Faute d'un plan cadastral ou d'absence de suivi par des services compétents, certains concessionnaires ont barré, d'autres ont déchiqueté des avenues rendant ainsi difficile la circulation aux usagers. D'autres par contre, se sont taillés des domiciles le long des rivières N'djili et Matete, compliquant d'avantage la libre circulation des eaux lors des crues, motif d'accentuation des inondations.

La zone comprend quelques ruisseaux et ruisselets qui serviraient à l'évacuation des eaux usées; cependant, il est dommage que ces écosystèmes urbains d'aussi grande importance écologique soient sujets à des multiples menaces (mauvaises habitudes de la population riveraine de tout jeter partout) susceptibles de causer leur disparition partielle ou totale. Les deux rivières de la zone (N'djili et Matete) sont de même rembourrées des sédiments (sables issus des érosions des sols en amont et déchets ménagers biodégradables et/ou non biodégradables) qui accentuent, ces derniers temps, le débordement de ces deux rivières.

La partie basse du quartier Ndanu, est une marre si pas un milieu humide et les populations ont choisi d'habiter cet endroit, jadis utilisé comme rizerie par la Coopération Sino-Zairoise. Avant l'avènement des scories, plusieurs occupants à faibles revenus utilisaient des immondices (déchets biodégradables) et déchets plastiques aux fins de chasser l'eau de leurs lotissements pour frayer un espace plus ou moins élevé pouvant recevoir une construction. Ceux qui ont des possibilités financières pouvaient luxueusement se procurer des déchets des bâtiments démolis, provenant des chantiers des quartiers nantis ou des routes en réparation. Le milieu étant déjà favorable au développement du paludisme, la poubellisation devient source de plusieurs nuisances et de multiplication de plusieurs autres germes pathogènes, vecteurs de plusieurs maladies telles que la fièvre typhoïde,

la diarrhée, le paludisme, etc. qui sont des maladies récurrentes dans cette partie de la capitale et causes de plusieurs décès, surtout des enfants de moins de cinq ans (renseignements Centre de Santé Saint Bernard). Bref, le quartier servait ou sert encore (à la demande des occupants et moyennant frais) de lieu de rejet de toute sorte d'ordures.

Avec l'avènement des fonderies de la mitraille vers les années 2008, la population a cru avoir trouvé une solution miracle, un Eureka face aux problèmes de délabrement de leur milieu de vie surtout des rues et avenues ou un moyen efficace de lutte anti humidité dans des parcelles. Ce qui justifie le marché intensif de vente des déchets des fonderies (scories et boues) faisant l'objet de cette étude.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour réaliser cette étude, nous avons procédé par un sondage suivi d'une descente sur terrain. Cette technique avait pour but de visiter de manière méthodique toutes les rues, avenues et ruelles au sein de la zone d'étude en vue de dénicher plus ou moins exhaustivement les lieux où sont rejetés les Scories et Boues des Fonderies (SBF). Pour alléger la tâche du monitoring, la zone d'étude avait été scindée en sept blocs distincts. Bien que cet exercice soit fait aléatoirement dans la seule raison de faciliter le monitoring de terrain, il s'avère néanmoins que les différents blocs présentent des caractéristiques particulières qui les différencient les uns des autres.

Le bloc 1 est localisé dans la partie haute de la zone d'étude et peut être scindé en trois sous blocs dont: (i) la partie située dans la fermeture de l'angle route du poids Lourd (Avenue Bobozo) et le Boulevard Lumumba. Il s'agit d'un secteur nouvellement loti (± 15 ans) malheureusement dans le lit de la rivière Matete. Il est caractérisé par un sol très humide durant toute l'année. Une seule avenue viable facilite l'accès à ce coin, tandis que les autres voies d'entrée et sortie sont des ruelles; le côté en face du chemin de fer principal (menant vers la province du Kongo Central) est en butte à des érosions qui menacent ledit secteur; (ii) la partie industrielle du coin qui ne présente presque pas des problèmes sur le plan urbanistique et environnemental. Hormis quelques nids de poules ici et là, la majeure partie des routes et avenues est garnie de bitumes et (iii) les habitats érigés le long du chemin de fer et dans les anciennes voies ferrées qui desservaient jadis certaines sociétés victimes des pillages des années 1991-1993 et dénommées à tort «tunnels». Il s'agit là des quartiers de fait dont le problème d'habitat et d'urbanisation se posent avec acuité. Les eaux ruissellent de partout érodant les sols, tandis que les immondices jonchent dans tous les alentours.

Le bloc 2 représente la bandelette du quartier Ndanu qui longe la rivière Matete au niveau du pont portant le même nom et l'ensemble du quartier Salongo à l'autre bord de la rivière Matete. Les secteurs se trouvant près de deux rives sont très humides durant toute l'année tandis que la partie restante du quartier Salongo est un milieu très sableux et donc favorable à l'absorption des eaux de pluie.

Le bloc 3 est le secteur du quartier Ndanu qui est épargné des problèmes d'inondations. Localisé au nord-ouest de notre zone d'étude, il renferme les secteurs Franck-Ilanga, Sulfo et la 15^{ème} Rue. Dans sa partie est (Franck Ilanga et l'angle de la 15^{ème} rue avec la rivière N'djili), on trouve quelques têtes d'érosion éparpillées, tandis que le débordement des deux canaux d'eau qui se croisent dans ce lieu inonde dangereusement le coin. La zone est très humide dans la partie où se croisent les deux voies principales d'évacuation des eaux usées et le long de ces dernières. Il s'agit aussi d'un secteur se retrouvant à certains endroits à des dénivellations parfois au-delà de 45° qui posent souvent problèmes d'écoulement des sols.

Le bloc 4 est le premier secteur de la zone basse de notre zone d'étude. Il se situe à la limite de la zone 3 et la rivière N'djili. Les avenues sont droites, plus ou moins vastes mais sans aucune voie d'évacuation des eaux usées. Le milieu est très sollicité par des grands camions qui exercent une forte pression sur un sol très humide provoquant ainsi des affaissements des sols et nécessitent de remblayage. Les sols qui tiennent le coût sont de facto emportés lors des grandes crues.

Le bloc 5 est localisé derrière la paroisse Catholique Saint Bernard. Il s'étend le long de celle-ci et prend une partie de l'avenue Mwepu jusqu'à la rivière N'djili. Le milieu est très encombré, tandis que les avenues et rues sont de très petites dimensions. Les sols sont fortement humides tandis que les voies de communication sont inexistantes. Certaines avenues ont été carrément barrées empêchant la fluidité de passage. C'est l'endroit qui recueille les premières eaux dans le quartier Ndanu en cas du débordement de la rivière N'djili voisine avant qu'elles ne se rependront dans toutes les directions.

Le bloc 6 se localise dans le carré dont les côtés sont entre autre l'avenue Mwepu (de sa jonction avec l'avenue Colonel jusqu'à la rivière N'djili), de la rivière N'djili (de sa rencontre avec l'avenue Mwepu) jusqu'à l'embouchure de la rivière Matete), de la rivière Matete au pont dit « pont Gecoco et avenue Bitini. Les sols sont très mouillés tandis qu'il n'existe pas des voies de conduite des eaux usées et les avenues sont désordonnées.

Le bloc 7 est un triangle on dirait isocèle dont la base se situe sur l'avenue Mwepu, l'un des côtés est le mur de l'ancienne usine COBRA tandis que l'autre côté est l'avenue Bitini (porte Saint Bernard) mais qui n'aboutit pas au sommet. Pas de caniveaux et les sols sont mouillés de manière permanente.

Pour parcourir avec quiétude les sept blocs de la zone d'étude, nous avons effectué différentes rotations soit à moto (facilitation), mais plus à pied. La stratégie opérationnelle consistait à «prospector» avenue par avenue. C'est sans prétendre avoir visité littéralement toutes les avenues du milieu d'étude étant donné que l'opération n'était pas préalablement assistée par une cartographie administrative.

Le prélèvement des données métriques a été réalisé au moyen d'un décimètre en ruban pour ce qui est de la largeur et d'une latte en bois de 60 cm s'agissant de la hauteur (profondeur) occupée par les rebuts des fonderies. Pour assurer cette dernière opération, une fouille systématique était de mise en usant une pelle et une pioche afin d'atteindre le niveau réel de sol non contaminé (il y a lieu de signaler qu'à certains endroits, les scories se sont mélangées avec les sols ayant perdues les repères). Quant au prélèvement des coordonnées géographiques (latitude et longitude), il a été fait usage du GPS-72H-GARMIN. Le calcul des différentes moyennes arithmétiques des données métriques et volumiques se faisait in situ en appliquant la formule:

$$M = \sum n_i \cdot N^{-1}$$

Avec M = moyenne arithmétique, n_i = valeur indicative/site et N = nombre de répétitions (fréquence).

Tandis que l'encodage in situ de toutes les données de terrain se faisait moyennant une fiche baptisée «fiche technique de terrain» reprenant les rubriques ci-après: le numéro d'ordre du site, les coordonnées géographiques (altitude et longitude) aux points de départ et d'arrivée, le poids estimé qui est une estimation déclarative des riverains donnée en terme de nombre de contenant (camion, chariot, etc.) des scories déversés dans un site déterminé, la largeur moyenne occupée par les SBF, la profondeur couverte des SBF et la période géologique qui indique subjectivement, selon les déclarations des riverains, la durée de vie de ces scories dans un site donné.

Ainsi recueillies, les données ont subi un traitement électronique au moyen des logiciels Microsoft Word, Excel 2010 et SPSS statistics 1.0.0.2482. Grâce à ces deux derniers, il a été possible de calculer les sommes, moyennes et écarts types globaux des données métriques et les variances. Nous avons aussi fait recours à l'ACP (analyse par composante principal) pour essayer d'orienter les sites dans des clusters bien définis. Quant aux données géographiques, elles ont été traitées moyennant les logiciels Q-GIS 3.14 WGS, projection 1984 en appui avec Excel 2010. Le calcul des distances des différents segments d'axes ainsi que de la superficie totale de la zone d'étude se sont effectués par AS-QGIS (analyse statistique QGIS).

Des formules typiques ont été utilisées pour effectuer certaines opérations telle que:

1°. La surface occupée par chacun de sites et par ricochet, la surface totale de terrain sur lequel sont déposées les scories et boues des fonderies:

$$S_x = D_x \cdot l_x$$

Avec S_x = surface d'un site x, D_x = distance (longueur) de l'axe qu'occupe le site donné et l_x la largeur sur laquelle est étendue les SBF sur le site x.

$$S_{\text{tot}} = \sum S_x$$

Avec: S_{tot} = Surface totale occupée,

2°. Le volume moyen approximatif des SBF:

$$V_x = S_x \cdot H_x$$

Avec V_x = volume des SBF au site x et H_x = le niveau de pénétration des SBF dans le sol au site x.

$$V_{\text{tco}} = \sum V_x$$

Avec: V_{tco} = Volume total couvert par les SBF.

3°. La somme de poids estimés a été notée par nombre de contenant (camions, chariot, etc) déversés dans divers sites. Le calcul du poids net des scories transportées s'est fait par calcul différentiel des poids selon la formule:

$$PN = PB - T$$

Avec PN = poids net, PB = poids brut et T = tare

Le volume calculé (voir 2°) et le volume estimé (voir 3°) ont été comparés. Les deux ont été mis en balance avec les estimations périodiques de rejet des scories des entreprises en question dans cette étude, ce qui nous a faciliter le calcul du volume moyen maximum produit depuis l'implantation desdites fonderies et de le comparer aux deux premiers. S'agissant de l'identification des différents endroits des rejets des scories, il a été fait usage des méthodes de sondage-suivi et de l'observation.

4°. La somme (Σ) de nombres était calculée suivant la formule:

$$\Sigma n_i = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n$$

Avec Σn_i = la somme des nombres indiqués n_1, n_2 , etc. équivalent à la suite arithmétique des nombre réels donnés.

4 RÉSULTATS ET ANALYSE

L'interprétation des données relatives à cette étude sera articulée autour de deux volets précis à savoir: (i) les données métriques, massiques et volumiques et (ii) les coordonnées géographiques.

Au cours de cette analyse nous allons, en premier lieu, décrire les données recueillies sur terrain, en deuxième lieu réaliser un examen minutieux des données des blocs en tenant compte des différentes variables mises en évidence pour analyser les stockage ou l'éparpillement des SBF dans notre zone d'étude. Deux types d'analyses seront effectuées dans ce cas précis à savoir: une analyse intra-blocs et une autre inter-bloc. Enfin, une typologie appropriée à chaque bloc et site, en prenant comme critère fondamental les différentes variables accordées aux SBF kinoises sera élaborée.

4.1 DESCRIPTION GLOBALISANTE DES DONNÉES

Tableau 1. Synthèse des données paramétriques

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	76	50	5500.00	44953	591.50	1038.00	1078036.00
Superficie (m2)	76	8.09	8600.00	70151.87	923.05	1429.51	2043503.07
Volume (m3)	76	12.64	3518.59	26970.48	354.87	596.26	355526.26

Le tableau ci-après représente la synthèse globale des résultats des données recueillies sur terrain. De sa lecture nous constatons que le nombre total de sites repérés, sur lesquels ont été jetées les scories et boues des fonderies kinoises à la date de la clôture du monitoring relatif à cette étude (2 juillet 2020) est de 76; des variables mesurées dans lesdits sites, le poids le plus faible est de 50 tonnes, la superficie de 8,09 m² et le volume de 12,64 m³. S'agissant des valeurs élevées, le tableau indique que le site (les sites) comportant un grand poids des scories et boues de fonderies renferme (nt) 5500 tonnes, la superficie de 8600 m² et le volume de 3519 m³. En somme, le poids total des scories et boues de fonderies kinoises épandues dans des rues et avenues de notre zone d'étude est évalué à 44953 tonnes lesquelles sont entreposées sur un espace superficiel de 70152 m² et occupant un volume global de 26970 m³. Bref, un site est occupé en moyenne par un poids de 623±1060 tonnes de scories et boues de fonderies, étendue sur une superficie moyenne de 923±1430 m² dans un volume moyen de 355±596 m³. Telles que le témoignent les différentes variances, les dispersions autours des moyennes sont très significatives. Nous étudions dans la section qui suit comment la distribution des SBF s'opère à l'intérieur des sites et blocs.

4.2 ANALYSE DESCRIPTIVE ET CARACTÉRIELLE DES DONNÉES MÉTRIQUES ET VOLUMÉTRIQUES

4.2.1 DESCRIPTION INTRA-BLOCS

Tableau 2. Bloc 1

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	11	50	760	3503	318.45	184.07	33881.27
Superficie (m2)	11	8.09	1053.85	5113.33	464.84	330.68	109353.43
Volume (m3)	11	31.00	421.54	1818.09	108.72	165.28	10472.88

Le bloc 1 comprend 11 sites, soit 14,5% du total de sites repérés. En moyenne chacun de sites a déjà reçu 318 ± 184 tonnes de SBF reposant sur un espace de superficie moyenne de 465 ± 331 m² et occupant subsidiairement un volume moyen de 109 ± 68 m³ avec encore une fois de plus des dispersions autour des moyennes très significatives.

La somme des poids de SBF dans les 11 sites est de 3503 tonnes dont le poids le plus élevé est de 760 tonnes et le moins élevé de 50 tonnes, tandis que la superficie totale est de 5113 m², la plus élevée étant de 1054 m² et la plus faible de 8 m². S'agissant du volume, la somme calculée dans les 11 sites est de 1118 m³ avec un maximum de 422 m³ et un minimum de 31 m³.

De la variation des données dans chaque site du bloc 1 nous générons le diagramme hiérarchisé des valeurs ci-après:

1°. Poids:

$S6 > S8 > S1 > S4 \equiv S11 > S10 > S5 \equiv S7 \equiv S9 > S3 > S2$

2°. Superficie:

$S6 > S1 > S8 > S7 > S5 > S10 > S11 > S9 > S4 > S2 > S3$

3° Volume:

$S6 > S8 > S11 > S4 > S1 > S10 > S5 > S7 > S9 > S3 > S2$

En lisant ce classement, il se dégage que toutes les variables examinées ont leurs points culminants au S6 qui présente un parallélisme parfait; il en est de même de S10 qui vient en sixième position. Par ailleurs, hormis S1, S11 qui ne présente aucun parallélisme, les sites restants occupent la même position en poids et en volume.

Il y a lieu de noter que S6 qui prend, aussi bien en poids, superficie ou volume, la tête de ce bloc n'est rien autre qu'un tronçon d'axe localisé vers la 17^{ème} rue le long du chemin de fer. Comme il est déjà dit, le tronçon est très occupé par plusieurs terrasses (bars) dont chacun de tenant voudrait aplanir son lieu de négoce en évitant bien sûr les eaux qui coulent abondamment en provenance des «tunnels» et de la 17^{ème} rue où la voie d'évacuation des eaux usées est complètement bouchée; c'est aussi la voie principale où coulent abondamment les eaux de pluie ruisselantes vers la conduite de la 16^{ème} Rue. D'où la sollicitation des SBF en multiples reprises pour tenter de lutter contre les érosions des sols observées régulièrement à cet endroit et dont la voie ferrée est menacée.

Tableau 3. Bloc 2

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	3	100	150	400	133.33	28.86	833.33
Superficie (m2)	3	162.96	291.62	618.15	206.05	74.10	5491.89
Volume (m3)	3	65.18	67.07	197.68	65.89	1.03	1.06

En terme du nombre de sites, le bloc 2, avec uniquement 3 sites y repérés représente 4% de sites contenus dans la zone d'étude. La somme de poids de SBF jetées sur ces sites est de 400 tonnes avec une moyenne de 133 ± 29 tonnes dont le plus grand poids est estimé à 150 tonnes et le plus petit à 100 tonnes. Aussi, l'espace total occupé par les SBF mesure 618 m² de surface dont la moyenne est de 206 ± 74 m² tandis que les extrémités sont circonscrits dans l'intervalle $163 \text{ m}^2 < X < 292 \text{ m}^2$. Quant au volume, le tableau indique une occupation totale de 198 m³ avec une moyenne de 66 ± 1 m³ comprenant 67 m³ comme le plus grand volume et 65 m³ comme volume le plus faible.

La variation par site de ces variables est caractérisée par le diagramme des données hiérarchisées ci-après:

1°. Poids:

$S12 \equiv S13 > S14$

2°. Superficie:

$S14 > S13 > S12$

3° Volume:

$S14 > S12 > S13$

Il ressort clairement de ce diagramme que S12 et S13 ont les mêmes poids tandis que la marche est talonnée par S14 qui a le plus faible poids des SBF déversées dans ce bloc. En outre, s'agissant de la superficie occupée par ces déchets de la métallurgie, S14 vient en premier lieu alors que S12 et S13 occupe la même surface à 6 centième près. S'agissant du volume, l'évolution est identique à celui du poids car on observe pratiquement les mêmes volumes à des différences infiniment petites entre S12 et S13

et même S14. Ce qui confirme la règle du parallélisme énoncée ci-haut. En effet, S12 localisé le long de la rivière Matete est un milieu très humidifié. Un flat hôtel est érigé à cet endroit. Pourtant l'approvisionnement en SBF est une affaire des moyens (des finances) car le faible coût d'un camion de 25 tonnes est de quatre-vingt dollars (80 USD) tandis que ce prix varie en rapport avec la distance. S13 qui contient le poids identique que S12 est une avenue au sein du quartier Salongo qui fut grandement sollicitée par des véhicules aux fins d'éviter les embouteillages récurrents provoqués suite à l'érection du saut de mouton de Debonhomme. Ce qui veut dire qu'en ces lieux, les SBF ont été sollicitées uniquement pour remblayer ou niveler l'avenue/route délabrée suite à cette sollicitation temporaire des véhicules.

Tableau 4. Bloc 3

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	19	50	1000	5100	268.42	280.97	78947.36
Superficie (m2)	19	67.30	8600.00	20627.47	1085.65	1903.11	3621859.79
Volume (m3)	19	37.84	2580.00	5715.00	300.78	567.78	322379.71

Avec ses 19 sites, le secteur occupé par le bloc 3 couvre le ¼ de sites de notre zone d'étude. 5100 tonnes des SBF y sont déjà jetés sur une couverture surfacique totale de 20627 m² et une occupation volumique de 5715 m³. Les moyennes de 268±281 tonnes, 1086±1903 m² et 301±568 m³ s'agissant respectivement du poids, de la superficie et du volume ont été trouvées. Il en est de même des valeurs les plus élevées qui sont de 1000 tonnes, 8600 m² et 3986 m³, tandis que les moins élevées sont 50 tonnes, 67 m² et 13 m³ pour les indicateurs selon leurs unités respectives.

De la synthèse du tableau ci-haut nous tirons le diagramme classificatoire suivant:

1°. Poids:

S15 ≡ S23 > S21 > S28 > S25 > S18 ≡ S31 > S20 ≡ S32 > S24 ≡ S22 ≡ S27 ≡ S29 > Cbia ≡ S17 ≡ S30 ≡ S32 > S19 ≡ S26

2°. Superficie:

S15 > S23 > S31 > S29 > S24 > Cbia > S30 > S22 > S27 > S18 > S28 > S26 > S19 > 33 > 17 > S21 > S32 > S20

3°Volume:

S15 > S23 > S31 > S29 > S24 > CBia > S30 > S22 > S27 > S25 > S18 > S28 > S26 > S19 > S33 > S17 > S21 > S32 > S20

Dans l'établissement du parallélisme des variables au bloc 3, nous constatons que S15 est en première position aussi bien en poids, superficie qu'en volume, il en est de même que S23 qui occupe la seconde position. En effet, S15 et S23 sont des sites où les pentes sont surélevées, aux prises aux érosions des sols dont les SBF sont sollicitées pour freiner les importations des sols et garder l'équilibre spatial entre deux voies qui s'emboîtent.

Tableau 5. Bloc 4

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	17	100	5500	28800	1694.12	1792.16	3211838.23
Superficie (m2)	17	183.01	7037.18	30162.62	1774.27	1988.95	3955936.30
Volume (m3)	17	82.35	3518.59	149958.01	880.00	939.00	881543.87

17 sites, soit 22,4% du nombre total de sites ont été identifiés au sein du bloc 4. Le total du poids des SBF deversés dans cette partie est évalué à 28800 tonnes pour une moyenne arithmétique de 1694±1792 tonnes. Le poids estimé le plus faible est de 100 tonnes tandis que le poids le plus grand est de 5500 tonnes. Les SBF sont épendues sur une superficie globale de 30163 m² dont la moyenne vaut 1774±1989 m² avec la plus petite superficie de 183 m² et la plus grande de 7037 m². Aussi, le tableau renseigne que le volume total renfermant les SBF est de 12976 m³ avec une moyenne/site de 763±914 m³, un volume minimum de 33 m³ et le maximum de 3518 m³.

Le diagramme de classement hiérarchisé ci-après détermine comment les variables ont évolué dans chaque site.

1°. Poids:

S37 ≡ S34 > S36 > S40 > S41 > S43 > S45 > S46 > S50 > S35 ≡ S39 ≡ S42 ≡ S44 > S49 > S47 > S48 ≡ S38

2°. Superficie:

S37 > S40 > S36 > S45 > S50 > S48 > S41 > S42 > S39 > S43 > S34 > S46 > S38 > S49 > S35 > S44 > S47

3°Volume:

S37 > S40 > S36 > S45 > S46 > S41 > S42 > S48 > S35 > S38 > S50 > S34 > S43 > S39 > S49 > S44 > S47

Le constant tiré de ce diagramme prouve que S37 est le site qui comporte les paramètres les plus élevés de tous les autres sites du bloc 4. Il s'agit de la plus vaste et longue avenue du quartier Ndanu qui coupe le quartier en deux parties équidistantes. La grande sollicitation de cette voie, qui paraît comme la principale, par des motocyclistes et surtout par des camions à fort tonnage sur un sol fragilisé par l'humidité permanente serait la cause des multiples nids de poules et trous sur la voie et donc de la forte demande des SBF sur le lieu. Il en est de même des autres sites du bloc qui présentent des caractéristiques presque similaires.

Tableau 6. Bloc 5

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	8	100	500	2150	268.75	155.69	24241.07
Superficie (m2)	8	94.97	1026.86	3974.19	496.77	336.40	113171.48
Volume (m3)	8	43.55	318.33	1248.30	156.04	100.66	10131.89

Huit sites de rejet des SBF ont été repérés au sein du bloc 5; le poids total est estimé à 2150 tonnes dont la moyenne est de 269±156, le plus petit poids de 100 tonnes et le plus grand de 500 tonnes. Aussi, la superficie totale sur laquelle repose ces SBF est de 3974 m² couvrant la moyenne de 497±336 m² dont la valeur minimum est de 95 m² et maximum de 1027 m²; s'agissant du volume, le tableau indique qu'en somme il est de 1151 m³ dont la moyenne est de 144±110 m³, les valeurs minimum de 23 m³ et maximum de 318 m³.

Nous présentons ci-dessous le diagramme de l'état d'évolution des variables dans les sites au sein du bloc.

L'examen du tableau ci-dessus génère le diagramme de classification hiérarchisée ci-après:

1°. Poids:

S53 ≡ S54 > S52 ≡ S57 ≡ S58 > S51 > S55 ≡ S56

2°. Superficie:

S57 > S54 > S55 > S53 > S52 > S58 > S56 > S51

3°Volume:

S57 > S53 > S54 > S55 > S56 > S58 > S51 > S52

De la lecture de ce diagramme ressort que S53 renferme un plus grand poids que les autres sites du bloc 5. Il s'agit d'une avenue localisée vers le bureau administratif du Quartier Ndanu et à côté de la rivière N'djili qui connaît d'intenses mouvements d'automobiles et motocyclistes dont les nids de poules et des pertes des quantités importantes des sols en découlent. C'est sans oublier les menaces dues aux eaux d'inondations. D'où la recherche des solutions idoines pour garder la voie en état de praticabilité et donc une forte sollicitation des SBF.

Tableau 7. Bloc 6

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	4	50	500	1000	250.00	187.08	35000.00
Superficie (m2)	4	282.96	644.42	1904.98	476.24	179.59	32253.35
Volume (m3)	4	96.66	245.16	626.00	156.48	63.48	4030.05

Quatre sites de rejet des SBF ont été repérés au sein du bloc 6. La somme des poids des SBF rejetées dans ce secteur est estimée à 1000 tonnes avec une moyenne de 250±187 tonnes dont le plus petit poids est de 50 et le plus grand dix fois le dernier. Par ailleurs, la lecture du tableau montre qu'une superficie d'au moins 1905 m² est occupée par les SBF avec une moyenne par site de 476±180 m² dont le site le moins étendu couvre 283 m² tandis que le plus étendu est couvert à 644 m². Dans l'entre temps,

le volume total contenant les SBF est de 509 m³ avec un volume moyen par site de 127±23 m³, le volume le plus petit de 97 m³ et le plus grand de 153 m³.

D'où ce diagramme hiérarchisé pour faciliter le classement des données.

1°. Poids:

S62 > S59 > S61 > S60

2°. Superficie:

S61 > S60 > S59 > S62

3°Volume:

S60 > S62 > S59 > S61

La lecture de cet histogramme indique que: (i) en rapport avec le poids estimé des SBF au sein du bloc 6, un classement de sites en 3 groupes peut être opéré notamment deux groupes de singletons l'un constitué du pic le plus élevé (S62), l'autre du pic le plus bas (S60) et enfin le groupe des S59 et S60 dont les moyennes rayonnent autour de 225±25 tonnes, (ii) concernant la superficie couverte par les SBF dans ce bloc, deux groupes se dégagent à savoir le groupe de S59 et S60 avec des moyennes autour de 324±58 m² et enfin, (iii) le groupe de S61 et S67 avec les moyennes oscillant autour de 629±22 m². S62 qui vient en tête, s'agissant du poids, est une avenue coincée le long de la rivière N'djili dans le flanc de la digue érigée à ce lieu. La déposition accrue des SBF en ce lieu est une tentative de remonter le niveau de l'avenue pour faciliter l'accès dans le coin.

Tableau 8. Bloc 7

	N	Minimum	Maximum	Somme	Moyenne	Ecart type	Variance
Poids estimé (T)	14	100	1000	4000	285.71	234.87	55164.83
Superficie (m2)	14	52.67	1566.09	7751.15	553.65	386.92	149714.64
Volume (m3)	14	12.64	455.80	2218.67	158.48	119.87	14361.87

Le bloc 7 comprend 14 sites où sont déjà rejetées les SBF. Le poids total estimé est de 4000 tonnes posées sur un espace surfacique total de 7751 m² et occupant un volume global de 1744 m³. Les moyennes du poids de 286±235 tonnes ont été calculées, de la superficies de 554±387 m² et du volume de 125±89 m³. Les valeurs minima et maxima sont respectivement de 100 tonnes et 1000 tonnes pour le poids, 53 m² et 1566 m² pour la surface et 13 m³ et 346 m³ pour le volume.

De ce tableau découle le diagramme hiérarchisé ci-après:

1°. Poids:

S73>S66>S76>S63≡S72>S67>S65≡S68≡S69>S64≡S70≡S74>S71≡S75

2°. Superficie:

S63>S75>S69>S70>S67>S65>S66>S64>S76>S72>S73>S68>S74>S71

3°Volume:

S70>S69>S63>S75>S73>S64>S65>S66>S67>S72>S76>S74>S68>S71

En lisant ce diagramme, nous constatons en première vue que le plus grand poids se localise au S73, suivi des S66 et S76 qui présentent des poids similaires dont le pic se situerait au même niveau que la moyenne (450±50 tonnes), vient ensuite S63, S72, S67, S65, S68 et S69 avec des moyennes autour de 242±49 tonnes puis les autres sites, c'est-à-dire S64, S70, S74, S71 et S75 dont les moyennes oscillent autour de 130±27 tonnes.

En considérant la superficie, le constat est que le pic est localisé au S66, viennent ensuite S71, S73, et S66 avec des moyennes autour de 806±40 m², puis les sites S68, S69 et S64 dont les moyennes oscillent autour de 586±60 m², ensuite S67, S63, S65 et S72 avec comme moyenne 431±87 m² et enfin, S70, S74 et S75 se regroupant autour de la moyenne 95±46 m². S'agissant du volume, S71 se distingue avec le pic le plus élevé (345 m³). Vient ensuite une série de quatre groupes dont le premier ayant pour moyenne 217±24 m³ comprend les sites S71, S66 et S76, le second dont le pic oscille autour de 128±11 m³ a pour sites S64, S68, S69, S72 et S73, le troisième composé des sites S63, S65, S67 et S70 pointe au pic de moyenne 74±24 m³ et enfin, les sites S74 et S75 avec le plus bas pic pivotant autour de 13±1 m³.

S73 qui porte la plus grande charge du bloc est une avenue parallèle à Mwepu et localisée juste derrière la paroisse Saint Bernard. Le site est longé d'une rigole qui ne coule presque plus à cause du bourrage sédimentaire. Les eaux de ladite rigole étant dans la rue, les riverains n'ont pas de choix que de chercher à rouvrir une passerelle pour leurs permettre d'accéder à leurs toits respectifs et/ou à l'église. D'où d'importantes masses des SBF sont sollicitées pour la cause.

4.2.2 DESCRIPTION INTER-BLOCS

Dans cette section nous faisons une tentative de comparer les résultats à l'intérieur des blocs pour élucider des variations à l'intérieur de ceux-ci.

Tableau 9. Analyse des sommes

	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4	Bloc 5	Bloc 6	Bloc 7
Poids estimé (T)	3503	400	5100	28800	2150	1000	4000
Superficie (m2)	5113	618	20627	30162	3974	1905	7751
Volume (m3)	1818	198	5715	14998	1248	626	2219

Lu dans le tableau ci-dessus, la somme des poids des SBF la plus importante se trouve dans le bloc 4 avec 28800 tonnes déversées sur une surface totale de 30162 m² dans un volume de 14998 m³, viennent ensuite le bloc 3 dont le poids est de 5100 tonnes, la surface de 20627 m² et le volume 5715 m³, le bloc 7 avec un poids estimé à 4000 tonnes, étendue sur une superficie de 7751 m² et occupant un volume sommé à 2219 m³; le bloc 1 avec un poids estimé à 3503 tonnes épandues sur un espace de superficie égale à 5113 m² dans un contenant de volume 1818 m³, du bloc 5 ayant comme poids massique des SBF 2150 tonnes reposant sur une superficie de 3974 m² dans un volume de 1248 m³, le bloc 6 avec le poids estimé sommé à 1000 tonnes couchées sur un espace superficiel qui mesure 1909 m² et enfoncées dans un volume de 626 m³ et enfin, le bloc 2 dont le poids estimé est de 400 tonnes étalées sur un espace superficiel de 618 m² et contenu dans un volume sommé à 198 m³.

Il s'avère donc que le bloc 4 est le bloc qui a reçu, à la date de clôture de l'investigation en rapport avec cette thèse, un fort tonnage des SBF. La description dudit bloc est rendue dans les paragraphes précédents. Son encombrement serait donc justifié par le fait que les avenues qui sont très humides, sont plus ou moins étendues et larges qui occasionnent une forte circulation des moto, voitures et surtout des camions bennes qui exercent une forte pression sur ces avenues déjà fragilisées par une forte humidité.

Tableau 10. Analyse des moyennes

	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4	Bloc 5	Bloc 6	Bloc 7
Poids estimé (T)	318	133	268	1694	269	250	286
Superficie (m2)	465	206	1086	1774	497	476	554
Volume (m3)	165	66	301	880	156	156	158

Pour bien comprendre le tableau ci-dessus, nous dressons un classement des indicateurs en ordre hiérarchisé.

Tableau 11. Classement des blocs en ordre croissant selon la variabilité des indicateurs

	Position1	Position2	Position3	Position4	Position5	Position6	Position7
Poids estimé (T)	Bloc 4	Bloc 1	Bloc 7	Bloc 5	Bloc 3	Bloc 6	Bloc 2
Superficie (m2)	Bloc 4	Bloc 3	Bloc 7	Bloc 5	Bloc 6	Bloc 1	Bloc 2
Volume (m3)	Bloc 4	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 7	Bloc 5	Bloc 6	Bloc 2

Il ressort de ce dernier tableau que:

1. Le bloc 4 vient en tête en termes de poids, superficie et en volume; la même similitude est observée avec le bloc 2 dont toutes les variables occupent la dernière position.
2. Le bloc 1 occupe la seconde position en termes de poids, la sixième s'agissant de la superficie et la troisième concernant le cubage (volume);
3. Le bloc 7 occupe la troisième position en poids et en superficie et la quatrième en volume;

4. Le bloc 5 occupe la quatrième position en termes de poids et superficie, et la cinquième position en cubage;
5. Le bloc 3 vient en 5^{ème} position s'agissant du poids et en deuxième position concernant la superficie et le volume et;
6. Le bloc 6 dont le poids et le cubage occupent tous la sixième position tandis que sa surface est à un pas en arrière.

En tout état de cause, nous voulons approuver à travers ces différentes comparaisons la véracité de nos données, surtout de nos mesures prises in ou out situ en vérifiant l'hypothèse de la relation existante entre le volume et le poids rendu dans la formule:

$$\sigma_r = \frac{m}{V}$$

σ_r est la masse volumique relative;

m est la masse (assimilée au poids); et

V est le volume des SBF.

Pour ce faire, nous constatons que les blocs 4, 6 et 2 ont répondu favorablement à cette règle; les blocs 1, 5 et 7 affichent chacun un décalage d'un pas en avant tandis que le bloc 3 seul présente un décalage de deux pas. Tous ces décalages étant plus ou moins plus proches du résultat, nous considérons que la règle a été observée avec certaines exceptions près.

Les scories d'aciérie ont une densité en vrac élevé généralement de 1900 kgm⁻³ [4]. En appliquant la formule ci-haut à notre expérience, les densités ci-après ont été relevées:

Tableau 12. Densité des SBF par bloc

Bloc	1	2	3	4	5	6	7	Médiane
Densité (kg/m ³)	1927,27	2015,15	890,37	1925,00	1724,36	1602,56	1810,13	1810,13

Du tableau précédent se dégage la lecture selon laquelle la densité varie par bloc de 890 kg/m³ ≤ x ≤ 2015 kg/m³ et dont la médiane qui se dégage est de 1810 kg/m³. Ce qui ressemble pratiquement au résultat ci-haut trouvé [4] et confirme par l'effet notre procédé.

Néanmoins, les différents décalages observés seraient dus d'une ou d'autre part au fait que:

- La prise de la mesure du poids est faite en prenant en compte des estimations aléatoires rendues par les riverains (propriétaires des parcelles);
- Les unités de mesure déclarées par les uns ou les autres ne sont pas les mêmes étant donné que certains ont acheté par camions de 25 tonnes (plus ou moins sûr), d'autres ont utilisé des moyens de transports non quantifiés tels que les bus ou taxi bus, la brouette ou la charrette, etc.;
- Les SBF sont des matériaux à diverses formes qui ne peuvent pas forcément s'emboîter; des vides d'espaces seraient alors difficilement décelables et mesurables;
- La prise de la hauteur à plusieurs endroits pour en tirer une moyenne arithmétique ne pouvait pas donner des mesures cohérentes ou exactes à cause de plusieurs dénivellations constatées sur la plupart de segments et dont la correction n'était pas aisée;
- Lorsque l'unité de mesure est un contenant, les contenus n'ont pas toujours les mêmes poids.

La figure ci-dessous représente le panorama de tout ce scénario.

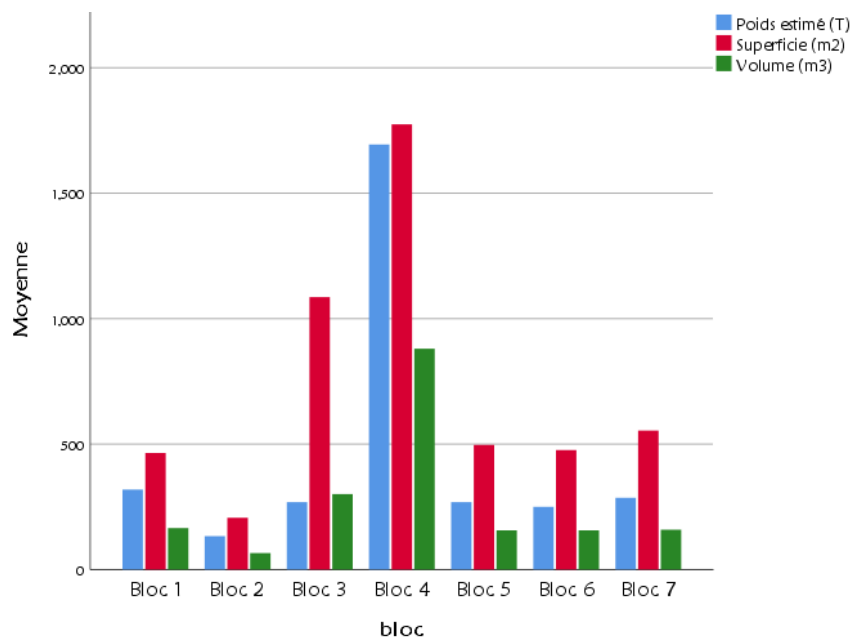


Fig. 2. Variation des moyennes paramétriques

SYNTHÈSE

La lecture de cet histogramme permet de saisir la partition des moyennes des données paramétriques au sein des blocs constitutifs de notre zone d'étude. Nous pouvons y lire que les pics de toutes les variables examinées (poids, superficie et volume) sont localisés au bloc 4. Néanmoins, ces variables n'ont pas évoluées de la même manière dans les autres blocs; ce qui nous oblige de les y interpréter singulièrement tout en mettant en évidence le bloc 4 dont les caractéristiques sortent du commun de mortel.

Ce qui veut dire subsidiairement parlant que le bloc 4 incarne la plus grande concentration des SBF et demeure donc le bloc le plus sollicité pour servir de lieu de rejet des déchets en général et des SBF en particulier. En effet, comme cela est déjà dit au cours de cette dissertation, le bloc 4 est le vaste milieu de Ndanu bas. Il représente la zone la plus humectée du milieu d'étude aussi bien en saison sèche et accentuée lors des grandes pluies qui provoquent des inondations de grande envergure. Ce graphique montre aussi l'interrelation existante entre les 3 variables tels que démontrer un peu plus loin.

4.2.3 TYPOLOGIE DES SITES SELON LES SIMILARITÉS DES VARIABLES

L'analyse typologique, connue sous le nom de «cluster analysis», est un terme générique utilisé pour désigner une variété de techniques d'analyses statistiques [5]. Ces méthodes sont généralement utilisées pour grouper des objets, des personnes, des concepts ou des stimuli dans des groupes homogènes sur la base de leur similarité. Ces techniques de classification sont particulièrement utiles dans le cadre d'investigations exploratoires afin de dégager des tendances générales au sein des données et de suggérer des pistes d'analyses futures [6]. L'objectif global des analyses de classification est d'identifier des classes à l'intérieur d'un ensemble d'entités mélangées que l'on croit appartenir à des populations différentes.

Il est ici question d'identifier les sites dans lesquels les variables en examen sont élevées, moyennes et moins élevées, définir leurs caractéristiques intrinsèques et détecter les blocs dans lesquelles elles appartiennent au sein de la zone d'étude.

Les indicateurs qui constituent les variables internes sur lesquelles est basée la classification des sites sont des scores factoriels issus d'une analyse à composantes principales (ACP) menée au préalable avec comme variables; le poids (en tonne), la superficie (en m²) ainsi que le volume (en m³). Etant donné qu'elles ont été mesurées avec des échelles de mesures différentes, ces valeurs ont été standardisées via l'utilisation de la matrice de corrélation lors de l'ACP. Une classification hiérarchique a été menée ensuite. La méthode d'agrégation utilisée est celle de Ward et la mesure de distance est le carré de la distance euclidienne.

Les différents clusters (classes) obtenus figurent dans le dendrogramme et le tableau ci-après. L'on notera qu'un cluster est une distribution des individus (sites) selon un nombre de groupes donnés. Il y a autant de clusters que de partitions demandées lors de l'analyse en classification. Dans notre cas, une solution finale à 3 classes a été retenue.

(1) Le programme pour l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été établi en appliquant les scripts ci-après :

```
FACTOR
/VARIABLES PoidsestiméT Superficiem2 Volumem3
/MISSING LISTWISE
/ANALYSIS PoidsestiméT Superficiem2 Volumem3
/PRINT INITIAL KMO EXTRACTION ROTATION
/FORMAT SORT
/PLOT ROTATION
/CRITERIA FACTORS (2) ITERATE (25)
/EXTRACTION PC
/CRITERIA ITERATE (25)
/ROTATION VARIMAX
/METHOD=CORRELATION.
```

(2) Le programme pour "le cluster analysis" (Analyse classificatoire) ont connu le concours des scripts ci-après :

```
CLUSTER FAC1_1 FAC2_1
/METHOD WARD
/MEASURE=SEUCLID
/ID=Site
/PRINT SCHEDULE
/PLOT DENDROGRAM VICICLE.
```

D'où le dendrogramme ci-après généré pour essayer de mettre en évidence une classification des données centrées sur des paramètres possédant les caractéristiques similaires ou presque similaires.

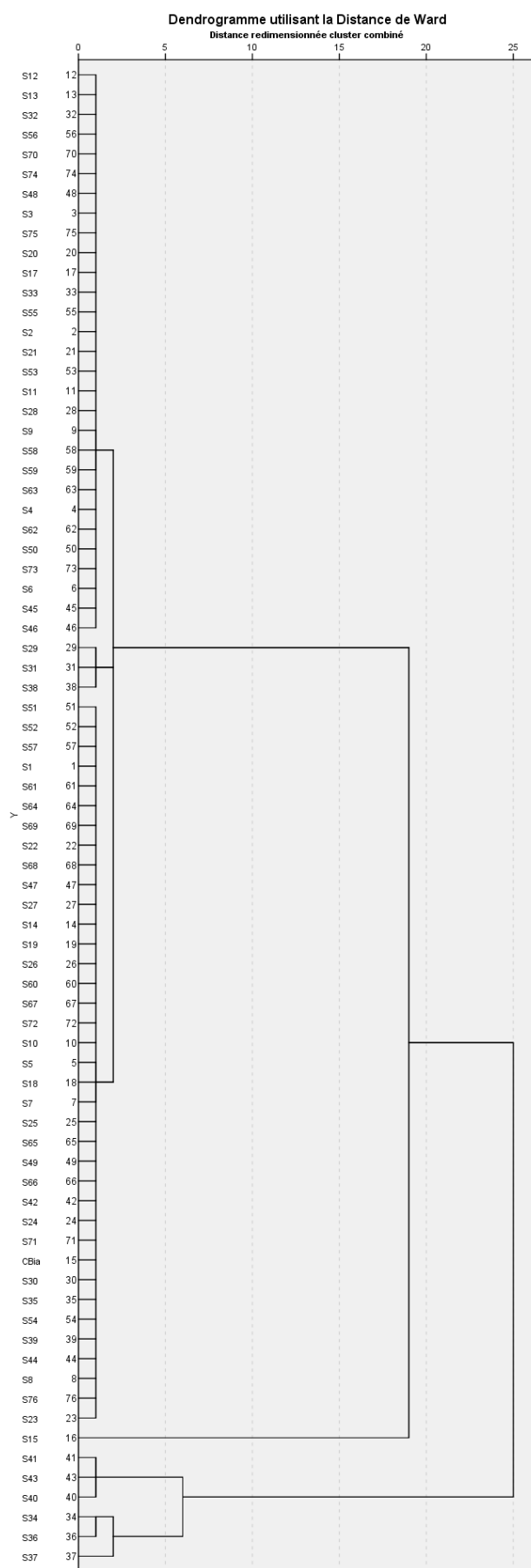


Fig. 3. Dendrogramme de classement des paramètres

De ce dendrogramme un classement des sites en trois Classes distinctes a été généré; il s'agit d'une classification assez cohérente au regard du dendrogramme. Elle permet d'observer 3 clusters homogènes dont le premier est composé de 6 sites, le second 1 site tandis que le troisième est le plus étendu et renferme 69 sites.

Néanmoins, c'est au sein des classes 1 et 2 qu'on retrouve des niveaux élevés de variables examinées, c'est-à-dire, où l'on trouve les sites avec des poids des SBF plus grands, des grandes étendues occupées par les SBF et même des grands volumes renfermant ces substances. Ces 2 classes permettent de conserver à elles seules 98.01% de la variance totale initiale. Nous pouvons déjà remarquer qu'elles sont exclusivement composées des sites des blocs 3 et 4. Ce qui indique que ce sont ces blocs qui posent plus de problèmes au sein de la zone d'étude.

Le plan factoriel ci-après donne l'image du classement en clusters de sites.

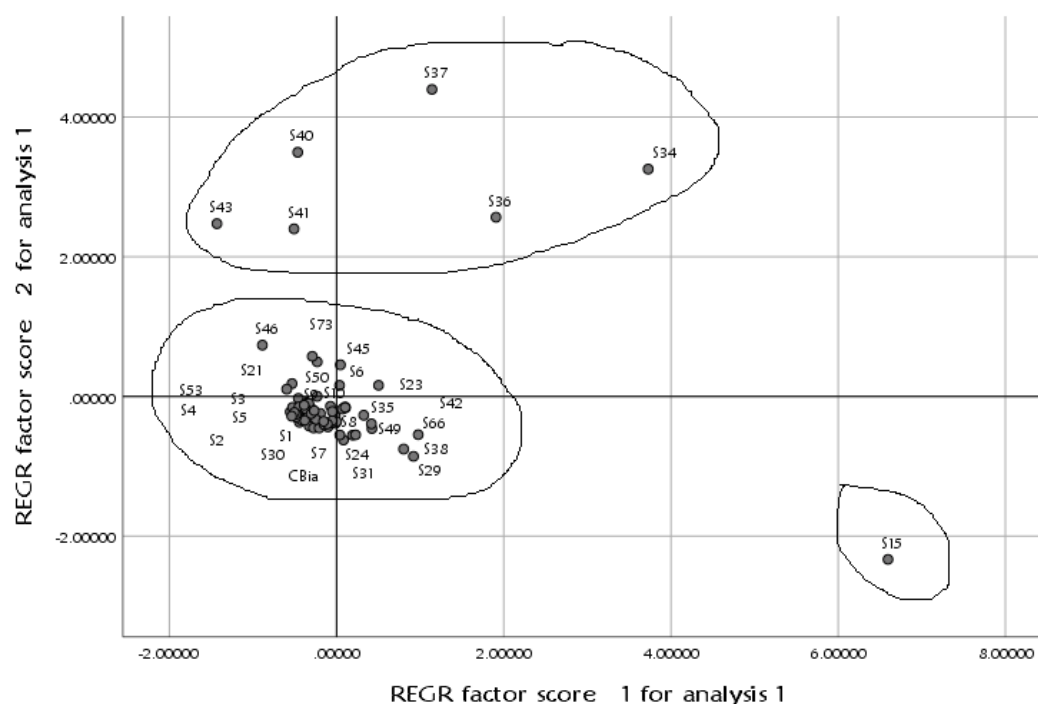


Fig. 4. Représentation des 3 classes sur un plan factoriel 1x2

Sur ce plan factoriel issu de l'ACP, nous pouvons aisément distinguer la classification des sites en 3 classes distinctes à travers lesquelles on peut aussi observer la concentration de 69 sites dans la classe 3 tandis que les deux premières classes n'en renferment que 7 sites.

A ce stade nous ne pouvons pas encore prédire les caractéristiques spécifiques de chacune de classes constituées. Pour remédier à cela, nous allons chercher les centres des groupes, c'est-à-dire les centres de gravité des classes constituées. Il est question de représenter les moyennes des scores des variables pour tous les sites appartenant à une classe. La description des classes sera faite en observant les scores moyens de chaque variable et en les comparant au score moyen de l'ensemble de sites. D'où le tableau classificatoire ci-après:

Tableau 13. Classification centripète des clusters

Variable	Score moyen générale	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Poids (T)	591.48	3833.33	1000	303.66
Superficie (m ²)	923.05	3386.22	8600	597.60
Volume (m ³)	352.38	1804.71	2580	193.81

Au regard du tableau précédent, nous constatons effectivement que les composantes des classes 1 et 2 appartiennent sans doute à celles des sites dont les poids des SBF sont plus grands, les superficies sur lesquelles les SBF sont les plus étendues et les volumes qui les contiennent sont importants. En effet, les valeurs de trois indicateurs dans ces 2 classes sont largement au-dessus des valeurs moyennes.

L'hétérogénéité entre les deux classes consiste en ce que la classe 1 est caractérisée par des scores de poids très élevés, l'Analyse à composantes principales confirme cela vu que 99.5% de la variance totale du poids est expliquée dans cette classe. Quant à la classe 2 qui ne comprend que le site 15, elle se distingue par des scores d'un volume important étendus sur de très grandes superficies. L'ACP confirme également cela étant donné que 98,4% de la variance totale de la superficie et 96.5% de la variance totale du volume sont expliqués dans cette classe. Quant à la classe 3, avec ses 69 sites, elle est la classe où les valeurs de toutes les variables examinées sont faibles et dont aucun des indicateurs n'atteint le niveau de la moyenne.

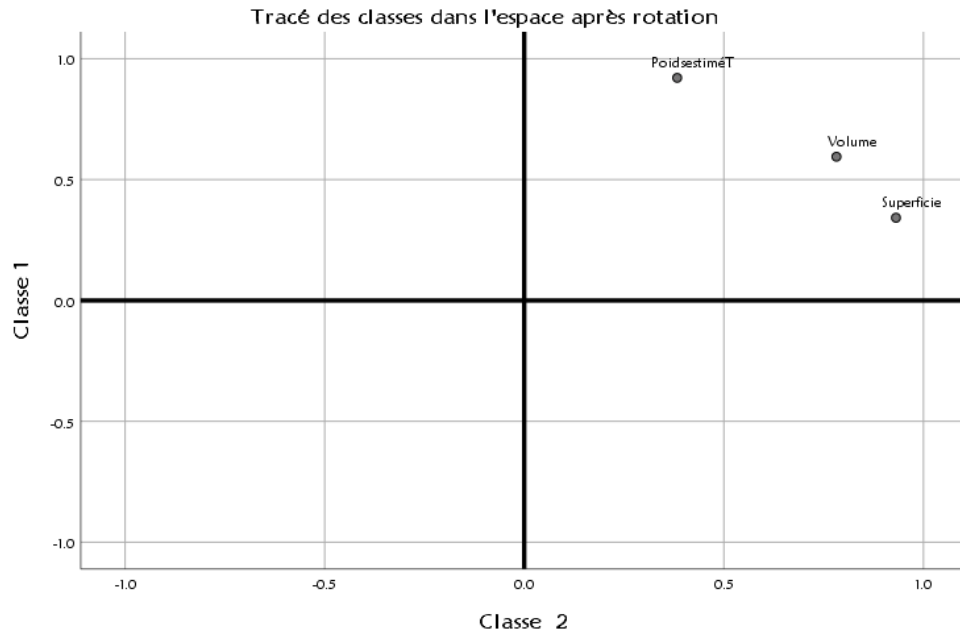


Fig. 5. Tracé des classes dans l'espace après rotation

En nous basant sur cette description, nous nommons les classes comme suit:

Classe 1: Classe des sites caractérisés par des SBF aux poids très élevés;

Classe 2: Classe des sites caractérisés par des SBF occupant des volumes très importants étendus sur des grandes surfaces.

Classe 3: Classe des sites aux valeurs paramétriques en dessous des moyennes.

D'où le graphique d'illustration du niveau de comportement des variables dans les 3 classes.

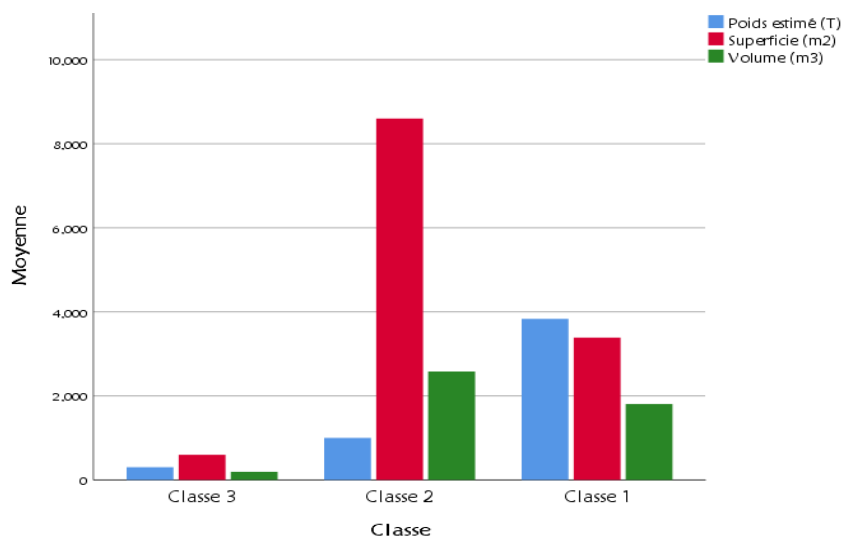


Fig. 6. Représentation des moyennes des paramètres selon les clusters

De la figure ci-dessus, l'on peut constater que 6 de 7 sites qui constituent les 2 classes des sites les plus problématiques sont des sites du bloc 4. Ce dernier représente dorénavant le bloc contenant des SBF en quantités significatives (comme on a eu déjà à le démontrer plus d'une fois). Vient ensuite le bloc 3 qui aligne 1 site (S15). Tous les autres blocs se retrouvent dans la classe 3 car elles affichent des niveaux de contamination très bas.

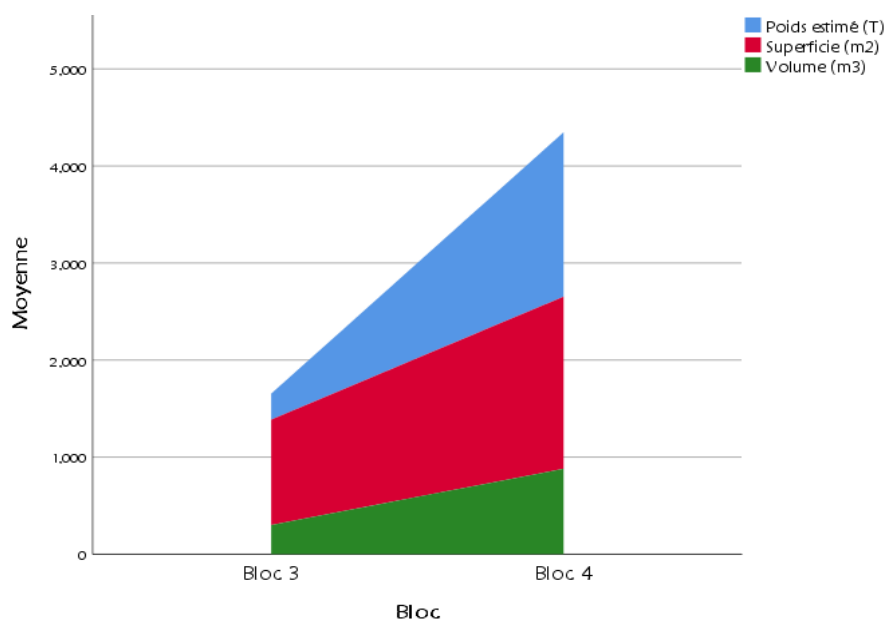


Fig. 7. Concentration plus grande des SBF (En ordre décroissant)

5 PRODUCTION DES SCORIES PAR LES FONDERIES DE LA MITRAILLE DE KINSHASA

La vérification des données ci-haut interprétées a été faite en utilisant certaines méthodes et techniques simples. En effet, vu que toutes les fonderies dont question dans cette étude nous ont refusé l'accès à leurs structures respectives, l'observation, le sondage ainsi que les essais techniques différentiels ont été mis en œuvre pour mettre en évidence la véracité de nos données.

Tableau 14. Estimation de la production des scories et boues des fonderies kinoises

Fonderie	Mise en Service	Age au 2/7/2020	Production journalière SBF	Production Totale
FAMECO	2008	4380 jours	9,25 tonnes	40515 tonnes
BENIPROS	2010	3650 jours	4,05 tonnes	14783 tonnes
WAN SHENG	2014	2190 jours	2,25 tonne	4928 tonnes
Total		10220 jours	15,55 tonnes	60226 tonnes

Production totale des SBF = Age x Production Journalière

Il ressort de ce tableau que les trois fonderies concernées par cette étude produisent environ 15,55 tonnes de scories et boues chaque jour et qu'en conséquence, depuis leurs mis en service, elles auraient produit 60226 tonnes.

Pourtant, se référant au tableau 1, notre zone d'étude à lui seul contient 44953 tonnes, soit près de 75% de la production globale des scories et boues des fonderies kinoises. D'après le sondage, nonobstant notre zone d'étude, une partie des SBF est jetée à Kingabwa et à Debonhomme (les quartiers Maziba, Malemba et Desmarais), deux régions périphériques et frontalières de notre zone d'étude présentant les mêmes caractéristiques topo-environnementales; aussi, les scories utilisées comme remblais de certaines concessions n'ont pas fait l'objet de cette étude. Ce qui nous fait comprendre que le 25% de SBF sont donc jeté dans ces deux régions ci-haut citées y compris dans certaines parcelles au sein de notre zone d'étude. Un autre site vient de s'ouvrir à côté de l'échangeur de Limete le long du Boulevard Lumuba où au moins l'équivalent de 150 tonnes des SBF viennent d'y être jeté sur demande d'une tierce personne qui voudrait y installer un service garage et lavage auto. De ce qui précède, il s'avère donc que notre zone d'étude est le milieu récepteur le plus important des SBF.

6 CARTOGRAPHIE DES REJETS DES SCORIES ET BOUES DES FONDERIES DE LA MITRAILLE

Ce résultat est rendu dans la carte établie sur base des données géographiques (altitude et longitude) mesurées sur le terrain.

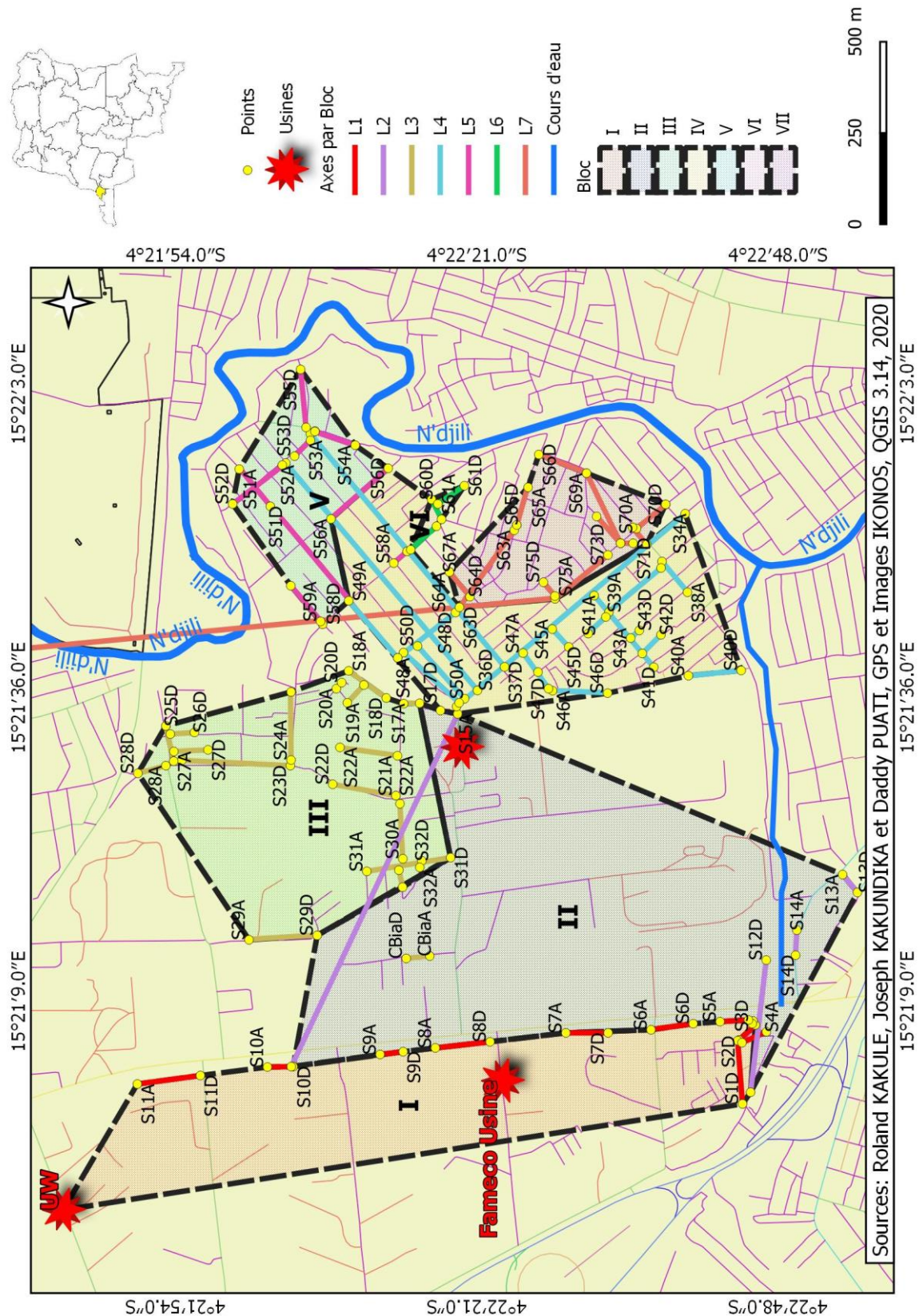


Fig. 8. Géolocalisation des sites de rejet des SBF

En lisant attentivement cette carte, il se dégage que la concentration des SBF est localisée au centre et à l'est de la zone d'étude. Il s'agit effectivement de la zone arrosée par les rivières N'djili et Matete lors des grandes crues.

Comme cela a été dit, cette zone a la forme d'un bassin ou mieux d'une cuvette qui recueille non seulement les eaux des deux rivières bien identifiées dans la carte mais aussi accumule les eaux de pluie dont l'évacuation n'est pas aisée.

En effet, il est connu que les eaux pluvieuses sont évacuées par un système tridimensionnel comportant le ruissellement, la percolation (infiltration) et la volatilisation ou l'évapotranspiration.

Il y a lieu de noter que d'importantes quantités d'eau sont évacuées par ruissellement, puis percolation (infiltration). Les deux phénomènes sont liés à la dynamique des fluides. Le ruissellement est facilité par la présence des voies significatives d'évacuation des eaux (ruisseaux, ruisseau, caniveaux, égouts, etc.), tandis que la percolation est fonction de la qualité des sols. Pourtant, s'agissant du ruissellement, notre zone d'étude ne dispose presque pas de voies d'évacuation des eaux usées tandis que les rares canalisations qui existaient sont bourrées des sédiments (comme on a eu à le démontrer un peu plus en avant); quant à la percolation, la superposition de plusieurs sortes de déchets surtout la présence de déchets plastiques a rendu les sols quasi imperméables.

Par ailleurs, des grosses particules des scories se disloquent à longueur des temps sous l'effet aqueux doublé par la pression continue exercée sur elles par des camions de tonnages fort élevés apportant soit les matériaux de construction, soit encore d'autres déchets. Il sied de souligner en effet que les déchets ont un marché florissant au quartier Ndanu. Des riverains s'en procurent chacun à son tour pour élever le niveau de l'avenue créant ou provoquant une dénivellation avec les voisins qui à leurs tour font de même, chacun à son tour voulant suivre l'autre et personne n'atteint l'autre. Le niveau de l'avenue gonfle dans un désordre progressif, tandis que les maisons érigées sans étude préalable restent dans une fosse dont il est difficile d'échapper aux inondations en temps de fortes pluies comme en temps de faibles pluies.

Aussi, les boues des fonderies qui sont des particules plus ou moins fines, sédimentent dans l'unique voie d'évacuation des eaux usées qui y existe et qui restant très bas en rapport avec le niveau d'avenue, recueille plus les particules solides sédimentables que les eaux. Les grosses particules ayant résisté à la dislocation exercent une forme de pression sur les parois de cette voie d'évacuation des eaux provoquant systématiquement le rétrécissement de son lit et donc de sa capacité d'accueillir les eaux.

Il se crée donc un phénomène double de rétrécissement de la surface et de la sédimentation qui s'ajoute au problème fréquent à Kinshasa de «tout jeter partout» [7], qui fait que les ouvrages d'assainissement soient pris comme des poubelles à ciel ouvert. Ce qui justifie en conséquence que Ndanu demeure un quartier inondé même suite à une faible pluie. Cette situation risque de perdurer ou de s'aggraver aussi longtemps que des travaux de grande envergure ne seraient pas entrepris pour soulager un tant soit peu la population de ce coin.

7 CONCLUSION

Cet article a permis d'examiner profondément la problématique de rejet des déchets industriels solides mais particulièrement des scories et boues des fonderies. Après sondage et observation qui nous ont permis de recueillir d'une part des données géographiques et d'autre part des données métriques (in et out situ), deux types de résultats ont été dégagés.

Les analyses des données métriques montrent que sur une période moyenne de 10 ans, ± 45000 tonnes des SBF ont été déversées dans les avenues de notre zone d'étude (la quantité contenue dans des parcelles n'a pas été évaluée). Ces déchets s'étalent sur une superficie de 70150 m^2 occupant un volume relatif de 26822 m^3 . Ce volume continuera à croître au rythme de production des scories et boues desdites fonderies estimée à ± 16 tonnes/jour tant que des mesures idoines de gestion de ces rebuts ne seront pas prises.

Les données rendues dans cet article sont utiles au cas où il serait établi une pollution quelconque aux SBF et que des mesures de remédiation pourraient être envisagées. L'analyse des données géographiques a reproduit une carte qui montre comment les SBF se répartissent l'occupation spatiale du milieu. Après sa lecture nette et claire, nous avons établi que la concentration de celles-ci se localise dans des lieux où se posent avec acuité des problèmes sérieux environnementaux (naturels ou anthropiques). Il s'agit de manière particulière des inondations, éboulements des sols, nids de poules causés par une forte sollicitation d'avenues par des camions à fort tonnage et autres matériels roulants, etc.

REFERENCES

- [1] Mahé-Le Carlier C., 1997. Caractérisation pétrographique et chimique d'analogues de déchets vitrifiés actuels: les scories de la métallurgie ancienne, Etude de l'altération naturelle et expérimentale, Thèse de doctorat, Université de Lille, 337 p.
- [2] Gaudin J.P., 2009. Furnace slag, *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, volume 36, p17-38.
- [3] Deneele D., 2002. Caractérisation, Simulations expérimentales et thermodynamiques de l'altération de déchets vitreux, Thèse de doctorat, Université de Lille I, 168 p.
- [4] G. H. Thomas, 1978. Expériences britanniques d'utilisation des scories LD comme revêtements routiers, *Rev. Met. Paris*, Vol. 75, N°5 (Mai 1978), pp. 329–334.
- [5] Scheibler, D & Schneider, W. (1985). Monte Carlo tests of the accuracy of cluster analysis algorithms. *Multivariate Behavioral Research*, 20, 283-304.
- [6] Kos, A.J.& Psenicka, C., 2000. Measuring similarity across methods. *Psychological reports*, 86, 858-862.
- [7] Joseph M. Kakundika, Dieudonné E. Musibono, K. Binzangi et Thierry T. Tangou, 2018. Analyse environnementale des sites de captage d'eau de la REGIDESO à Kinshasa, *International Journal of Invention and Applied Studies*, ISSN 2028-9324 vol.25 n° 1. Dec. 2018, pp 313-321.

