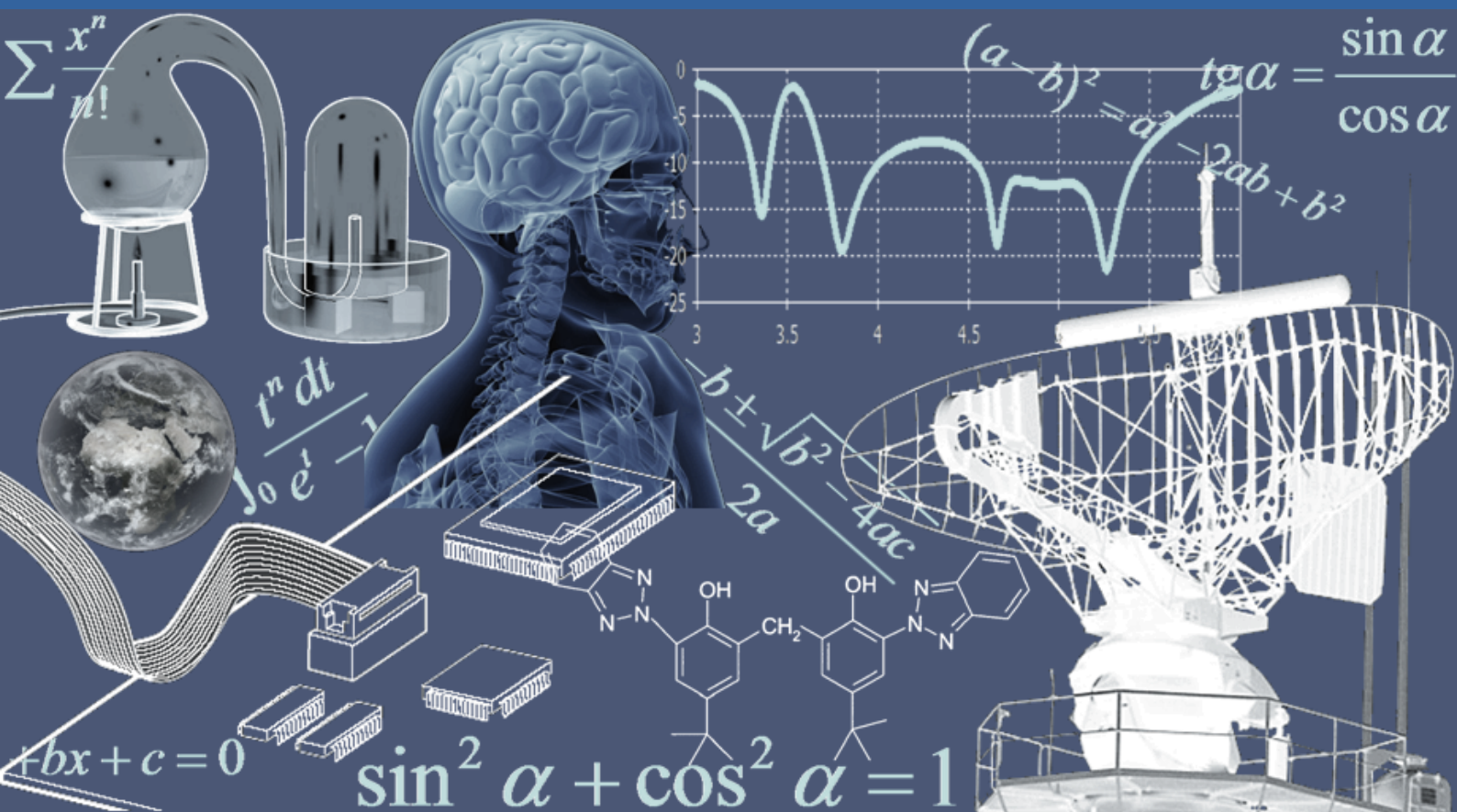


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 34 N. 2 November 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 Kavroudakakis, 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 Julia, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt

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

Table of Contents

Les risques cancérigènes liés à la consommation des bananes plantains braisées vendues sur le marché de la localité de Man	128-135
<i><u>K.A. Kouadio Kouakou, L. C. Soro, M. B. Kone, and L. Ocho-Anin Atchibri</u></i>	
Tumeur fibreuse solitaire maligne: A propos d'un cas	136-140
<i><u>Karima Idrissi Serhrouchni, I. Elihiai, M. Eljjar, Jinane Kharmoum, and Mariame Chraibi</u></i>	
Small-duct Primary Sclerosing Cholangitis associated with type IIIb Autoimmune Polyglandular Syndrome: A rare combination	141-144
<i><u>Rokhsi Soukaina, Tarik Adiou, Benayad Aourarh, Abdelfettah Touibi, Hasna Igorman, Sanaa Berrag, Mouna Tamzaourte, and Aziz Aourarh</u></i>	
Sensibilité des Salmonelles Typhimurium vis-à-vis des extraits totaux de Costus afer in vitro	145-150
<i><u>Tshipele Ondas Arnold, Pitu Mbabu Hugo, Pungi Phambu Sandrine, Futi Yi Nkimi Sambu, Mayina Phuati Cloery, and Nlandu Khonde Alphonse</u></i>	
Évaluation des connaissances et attitudes des mères sur la prise en charge de la diarrhée dans le secteur de Nganda Tsundi, territoire de Tshela dans la province du Kongo Central en RDC	151-155
<i><u>Pitu Mbabu Hugo</u></i>	
Esquisse sur la détermination des valeurs de référence de l'hémoglobine et de l'hématocrite des enfants de 0 à 5 ans dans l'ex-cité de Tshela	156-161
<i><u>Mbakulu Mbila Moise, Nzau Mbadu Matoko Don Jose, Bazinga Maba Basile, and Vangu Mvutu Cocco</u></i>	
Risques professionnels, invalidité et cout de réparation des accidents du travail déclarés à la caisse nationale de sécurité sociale dans la province du Haut-Katanga, République Démocratique du Congo de 2010 à 2016	162-177
<i><u>Kalumba Ilunga Cléophas, Barthelemy Wognin, Mathias Kouassi, Elisabeth Yehouenou, and Kabyla Ilunga Benjamin</u></i>	
Étude des déterminants des accidents du travail déclarés à la caisse nationale de sécurité sociale dans la province du Haut-Katanga, République Démocratique du Congo de 2010 à 2016	178-193
<i><u>Kalumba Ilunga Cléophas, Muleka Ngindo, Mathias Kouassi, Elisabeth Yehouenou, and Barthelemy Wognin</u></i>	
Mise au point d'une boisson à base de l'ananas, de l'orange et de la carotte au Bénin	194-204
<i><u>Aissan Mahougnon Elsa Sidonie, Konfo Tétédéd Rodrigue Christian, Dedehou Emmanuelle, and Edwige Dahouenon-Ahoussi</u></i>	
Modélisation du couplage du circuit d'écoulement de l'onde de choc de foudre dans le réseau électrique haute tension : Application au poste haute tension 220 KV de Lingwala (Kinshasa)	205-220
<i><u>Mwanamputu Mbwanzo Clément, Nsongo Timothée, Pasi Bengi Masata André, and Flory Lidinga Mombonda</u></i>	
Impact thermique de l'injection du courant de foudre dans un sol abritant les postes haute tension: Application au poste HT de Lingwala à Kinshasa en RDC	221-229
<i><u>Mwanamputu Mbwanzo Clément, Nsongo Timothée, Pasi Bengi Masata André, and Lidinga Mombonda Flory</u></i>	
Utilisation de la matrice d'Hadamard pour le criblage des facteurs dans l'élaboration des nouveaux catalyseurs semi-synthétiques du craquage de pétrole	230-237
<i><u>Abdoulaye Dan Makaou Oumarou, Alassane Ibrahim Maman Bachir, Garba Neino Abdoulaye, Kouassi Konan Edmon, Mamane Souley Abdoulaziz, and Yao Kouassi Benjamin</u></i>	
Conception et Simulation de Filtres Passe-Bande Miniaturisés à Base de Résonateur à Saut d'Impédance	238-246
<i><u>Ali Mahamoud Ali, Bakhit Amine Adoum, Idriss Saleh Bachar, and Mahamoud Youssouf Khayal</u></i>	
Analyse de la satisfaction au travail selon l'approche bifactorielle de Frédéric Herzberg: Etude menée à l'Office congolais de contrôle (OCC), GOMA	247-259
<i><u>Kasao Mutumay Dieudonne and Mwamini Banga Scholastique</u></i>	
Effets de l'exposition aux événements traumatiques sur l'estime de soi chez les habitants de la ville de Goma : Cas du Quartier Buhene	260-267
<i><u>Kasao Mutumay Dieudonne and Bahati Valentin</u></i>	
Proposal of a dewatering system for uranium mineralization in the Tim Mersoï basin in Arlit region (North Niger): Case of the Apophyse Ariège deposit	268-275
<i><u>Illias Alhassane, Abdou Babaye Maman Sani, Wagani Ibrahim, and Ousmane Boureima</u></i>	
Restauration de rue: Effets socio-économiques et risques sanitaires dans la ville de Djougou (nord-ouest	276-285

Bénin)

Assouni Janvier

Le S.I.G.: Outil efficace pour la gestion du foncier au service du cadastre 286-292

Elam Kyungu Lukomba, Grâce Mwangal Kapend, Bertin Umba Nkulu, Elie Louis Kabwe Kionde Kabuta, Dennis Tshikudi Tshikudi, and Luc LUMANJI MBUNGA

Conception et simulation virtuelle d'un filtre numérique parallèle à réponse impulsionnelle infini pour convertisseur A/N à modulateur en rapport cyclique 293-304

Dang Zomo, Gamom Ngounou Ewo Roland Christian, and Jean Mbihi

Etude de la phénologie des quelques essences agroforestières et sylvicoles de la région de Beni-Butembo (Nord-Kivu, République Démocratique du Congo) 305-311

Muhindo Saiba Difo

Elaboration d'un tarif de cubage de Gilletiodendron kisanuense (ex Vermoesen) J. Léonard de la réserve forestière de YOKO, Ubundu, Province Orientale, R.D.C. 312-319

Muhindo Saiba, Kambale Sivihumbwa, Kasereka Shangilia, Kasereka Kyana, and Kambale Lebon

Approche analytique de l'étude de la flexion d'une poutre console et simulation numérique avec le code de calcul Cast3M 320-330

Ahmed Doumbia and Pierre Jean-Marie Richard Dablé

Le segment de paysage et le paysan lobi dans la région de Bouna au Nord-Est de la Côte d'Ivoire 331-342

Kambire Sambi

Système technique de production du « bili-bili », bière traditionnelle de sorgho: Variabilité territoriale des pratiques et perspectives de valorisation 343-353

Touwang Charles, Nso Emmanuel Jong, and Robert NDJOUENKEU

Cauchy-Kowalesky problem in fuzzy normed spaces 354-368

Walo Omana Rebecca and Kumwimba Seva Didier

Usages ethnobotaniques des plantes par les populations de la Sous-Préfecture de Gonaté (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) 369-379

Bernadin Dro, Siendou Coulibaly, Kouassi Konan Marius, and Moreto Salla

Evolution des paragenèses métamorphiques dans les formations panafricaines du Sud Maradi (Sud Niger) 380-395

Baraou Souley Idi and Moussa Konaté

Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles marocaines vis-à-vis de la mouche de Hesse (Mayetiola destructor (Say)) 396-402

Rachid Ismaili, Sanâa LANOUARI, Rachida Othmane, Abdeslam Lamiri, and Khadija Moustaid

Étude ethnobotanique de plantes aromatiques et médicinales marocaines 403-413

Rachid Ismaili, Sanâa LANOUARI, Abdeslam Lamiri, and Khadija Moustaid

Hygroma kystique découvert à l'échographie du 1er trimestre: A propos de 03 cas 414-419

H. Souradi, F. Amrane, Z. Bennani, M. Hiji, M. Youssfi, and Samir Bargach

Les risques cancérigènes liés à la consommation des bananes plantains braisées vendues sur le marché de la localité de Man

[The carcinogenic risks associated with the consumption of braised plantains sold in the market in the town of Man]

K.A. Kouadio Kouakou¹, L. C. Soro¹, M. B. Kone¹, and L. Ocho-Anin Atchibri²

¹UFR - Ingénierie Agronomique Forestière et Environnementale, Université de Man, BP 20 Man, Côte d'Ivoire

²Sciences et Technologies des Aliments (UFR, STA), Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, 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: Braised plantain is made from ripe or unripe plantains braised over a low charcoal heat. This cooking of plantains could expose consumers to a mixture of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) from the combustion of wood or charcoal, some of which are found to be carcinogenic. The objective of this study is to assess the risks associated with the consumption of plantains braised over a low charcoal heat and sold in the Man market. To perform this study, rats of the Wistar strain were fed a diet based on braised plantains. This study allowed us to obtain high ingestions by the rats of between 10.56 ± 0.08 g / d and 11.26 ± 0.07 g / day and a weight gain of these same rats of between 9.50 ± 0.16 g / day and 9.74 ± 0.20 g / day. Unfortunately, the blood and urine analyzes of these rats used revealed high levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of between 2.6 ± 0.20 and 3 ± 0.7 g / ml for the blood and 1.5 ± 0.50 to 2 ± 0.6 g / ml for urine. The excessive consumption of plantains braised over a low charcoal heat and sold in the Man market can cause cancer consumers. These braised plantains sold in the Man market contain high levels of PAH.

KEYWORDS: Braised plantains, PAH, carcinogenic effect, Man.

RESUME: La banane plantain braisée est faite à base de banane plantain mûre ou non mûre braisée sur le feu doux de charbon de bois. Cette cuisson de la banane plantain pourrait exposer les consommateurs à un mélange de Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique (HAP) issus de la combustion du bois ou du charbon, dont certains s'avèrent cancérigènes. L'objectif de cette étude est d'évaluer les risques liés à la consommation des bananes plantains braisées sur le feu doux de charbon de bois et vendues sur le marché de Man. Pour réaliser cette étude, des rats de souche Wistar ont été nourris avec un régime alimentaire à base de bananes plantain braisées. Cette étude nous permis d'obtenir des fortes ingestions par les rats comprises entre $10,56 \pm 0,08$ g/j et $11,26 \pm 0,07$ g/j et une prise de poids de ces mêmes rats comprise entre $9,50 \pm 0,16$ g/j et $9,74 \pm 0,20$ g/j. Malheureusement, les analyses sanguines et urinaires de ces rats utilisées nous ont révélé des fortes teneurs en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques comprises entre $2,6 \pm 0,20$ et $3 \pm 0,7$ g/ml pour le sang et $1,5 \pm 0,50$ à $2 \pm 0,6$ g/ml pour l'urine. La consommation abusive des bananes plantains braisées sur le feu doux de charbon de bois et vendues sur le marché de Man peut être souche de cancer pour les consommateurs. Ces bananes plantains braisées et vendues dans le marché de Man contiennent des fortes teneurs de HAP.

MOTS-CLEFS: Plantains braisés, HAP, effet cancérigène, Man.

1 INTRODUCTION

Les bananes plantains constituent l'aliment de base pour les populations de l'Est, du Sud et de l'Ouest de la Côte d'Ivoire [1]. Ses utilisations alimentaires sont multiples et varient selon le pays et les habitudes alimentaires des consommateurs. Les bananes plantains servent d'aliment énergétique [2]. En Côte d'Ivoire, il existe 20 mets inventoriés à base de banane plantain dont les plus consommés sont: le *foutou* et le *foufou*, l'*alloco* et les *chips* traditionnels, la banane plantain braisée, la banane plantain bouillie, le *claclo* et l'*akpessi* [3]. La banane plantain braisée est faite à base de banane plantain mûre ou non mûre braisée sur le feu doux de charbon de bois [3]. Elle est souvent mangée avec de l'arachide grillée ce qui la rend très succulent. Ce mets traditionnel typiquement ivoirien est facile à faire car il suffit juste d'éplucher quelques bananes plantains, un grillage, du feu doux et le tour est joué. Il faut minimum une dizaine de minutes pour sa cuisson en la surveillant et la retourner de temps à autre pour ne pas la laisser brûler [3]. Malheureusement, la consommation des bananes plantains braisées pourrait avoir des répercussions sur la santé de l'homme et pouvant même entraîner sa mort [4], [5]. En effet, les mets dont les cuissons se font en contact direct avec le feu de bois ou le charbon, peuvent donner du cancer aux consommateurs dû à leur exposition à un mélange de Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) dont certains s'avèrent cancérigènes alors que d'autres n'induisent que des effets systémiques non cancérigènes [5]. Les hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) constituent une classe de composés organiques particulière et probablement la plus étudiée en raison de leur caractère cancérigène et mutagène [6]. Les HAPs sont générés pendant la pyrolyse ou la combustion incomplète de matières organiques (combustion du bois ou du charbon) [5], [6]. Ils sont aussi très répandus dans l'environnement et entrent par conséquent dans la chaîne alimentaire, notamment par l'air et par le sol. Les HAP peuvent aussi être présents dans les matières premières par suite de contamination environnementale [6]. Le cancer comme vous le savez résulte d'une perturbation profonde et complexe du fonctionnement de certaines cellules, qui se multiplient de manière incontrôlée et anarchique, à tel point qu'elles finissent par envahir l'organe dans lequel elles se trouvent et par envoyer d'autres cellules malades à distance, vers d'autres organes [7]. Il est aussi une maladie multifactorielle impliquant des facteurs individuels, comportementaux et environnementaux qui peuvent concourir à son déclenchement [7]. Le cancer est un problème majeur de santé publique dans le monde avec 9,6 millions de personnes décédées en 2018 [8]. En Côte d'Ivoire, ce sont environ 20 000 personnes qui meurent de cancer [7]. Les personnes généralement atteintes de cancer dans le monde et en particulier en Côte d'Ivoire ont été exposées à un mélange d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) [5] et ceci quelle que soit la voie d'exposition (orale, pulmonaire et cutanée). Pour la population générale, la principale source d'exposition aux HAPs est l'alimentation [9]. Dans le but de prévenir certains risques liés aux cancers que cette étude a été menée. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les risques liés à la consommation des bananes plantains braisées vendues sur le marché de Man. Il s'agira spécifiquement de:

- Nourrir les rats *Wistar* par des régimes alimentaire à base de bananes plantains braisées vendues sur le marché de Man;
- Déterminer les paramètres de la valeur nutritionnelle de ces bananes braisées (la teneur en matière sèche ingérée, le gain de poids, l'indice de consommation, la quantité d'amidon fécal et ingéré, le coefficient d'efficacité alimentaire) de régimes de rats à base de farines de bananes plantains braisées en comparaison avec celles des bananes plantains non braisées,
- Analyser le sang et les urines extraits des rats *Wistar* utilisés pour l'expérimentation.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé est le plantain (*Musa x AAB*). Ce sont trois variétés locales à savoir: les bananes de type *French*, de type *Vrai Corne* et bananes de type *Faux Corne* qui ont fait l'objet de notre étude. Ces trois variétés sont les plus cultivées et les plus commercialisées dans la région de Man [10]. La localité de Man est située à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, à la latitude 7° 24' Nord et à la longitude 7° 33' Ouest.

2.2 ANALYSES BIOCHIMIQUES DES FARINES

Le taux de protéines a été déterminé par la méthode Kjeldah [11] et le taux des glucides totaux a été déterminé par la relation mathématique: taux de glucides totaux = 100% - (% lipides + % protéines + % cendres). Les lipides ont été déterminés au soxhlet par extraction à l'hexane pendant 24 heures selon AFNOR [12] et les cendres par incinération au four à moufle électrique à 550 °C pendant 24 heures.

2.3 ANIMAUX D'EXPÉRIENCE ET CONDUITE DE L'ÉLEVAGE

L'étude est réalisée sur 40 rats Wistar âgées de 5 semaines en début d'expérimentation, pesant en moyenne $80 \pm 0,5$ g et maintenues dans des cages individuelles. L'expérience a duré 90 jours. Une alternance jour et nuit de 12 heures est assurée. Les rats ont été répartis de façon aléatoire de 4 lot de 10 et sont pesés chaque 2 jours pendant toute la durée de l'expérimentation. Les lots sont repartis comme suit: lot 1 régime témoin (bananes plantains non braisées), lots 2, 3 et 4 régimes expérimentaux (respectivement fruits de type *French*, type *Faux Corne* et *Vrai Corne* braisées).

2.4 RÉGIMES ALIMENTAIRES

Les régimes alimentaires ont été confectionnés selon la méthode de l'AOAC. La préparation a été faite tous les jours avec 200 g de farine obtenue à partir de 4 bananes braisées de chaque cultivar achetées sur le marché de Man, mélangé avec de l'huile d'arachide et de la caséine (SIGMA) puis supplémenté avec un complexe vitaminique (JUVAMINE, la vitamine K1 (Roche Phytomenadione) et d'un complément minéral (Tableau I).

Tableau 1. Composition centésimale des différents régimes alimentaires

Cultivar	<i>French</i> Braisée	<i>Faux Corne</i> Braisée	<i>Vrai Corne</i> Braisée	<i>French</i> non braisée	<i>Faux Corne</i> non Braisée	<i>Vrai Corne</i> non Braisée
Glucides (%)	76,56	78,62	78,54	76,74	77,75	78,7
Caséine (%)	9,88	8,78	8,85	9,98	9,57	8,65
Huile d'arachide (%)	8,56	7,6	7,61	8,28	7,68	7,65
Complément minéral (%)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Complexe vitaminique (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Matière sèche (%)	100	100	100	100	100	100
Valeur énergétique kcal/100 g MS	430	430	430	430	430	430

2.5 LES PARAMÈTRES D'ÉTUDES DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES RÉGIMES CONFECTIONNÉS ET COLLECTE DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

- **La quantité de Matières Sèches Totales Ingérées (MSTI) (g/j)** représente la quantité d'aliment ingéré sous forme de matières sèches par l'animal durant la durée de l'expérience. Elle est obtenue en divisant la quantité de MSTI (g) par la durée de l'expérience en jours.
- **Le gain de poids**, exprimé en g, représente la différence entre le poids final et le poids initial des animaux. Pour obtenir le gain de poids en g/j, la valeur calculée en g est divisée par la durée de l'expérience en jours. Le gain de poids permet l'évaluation des performances de croissance. Le gain de poids (GP) (g/j) a été calculé comme suit:

$$[\text{Poids final (g)} - \text{Poids initial (g)}] / \text{Nombre de jour.}$$

- **L'Indice de consommation (IC)** a été utilisé par les zootechniciens pour l'évaluation de l'efficacité alimentaire. Les aliments sont pesés et distribués quotidiennement. Pour chaque lot, les quantités consommées ont été estimées par jour en faisant la différence entre les quantités distribuées et les quantités restantes en fin de la journée. À l'aide de ces données, l'indice de consommation (IC) a été calculé en faisant le rapport entre la quantité d'aliments consommée pendant un jour (g) et le gain de poids quotidien (g).
- **Le Coefficient d'Efficacité Alimentaire (CEA)** est déterminé en faisant le rapport entre le gain de poids (g) et la quantité de MSTI (g). Il traduit le rendement avec lequel l'aliment est assimilé.
- **Analyses sanguine et urinaire:** l'analyse urinaire des rats *Wistar* utilisés s'est faite selon la méthode de [13] Chahin *et al.* et celle du sang par la méthode [14]. Cette analyse de sang et d'urine fournit de l'information supplémentaire sur les reins et le foie, ainsi que sur l'état de santé générale de l'animal. Les analyses sanguines et urinaires permettent fréquemment de détecter des maladies avant que l'animal ne montre des symptômes [15].

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 7.5.3. Pour chacun des facteurs expérimentaux (paramètres biochimiques et nutritionnels), la comparaison des moyennes des bananes braisées avec les bananes non braisées s'est effectuée à l'aide du test de Dunnett au seuil de 5%. La différence entre deux données est significative lorsque le niveau de signification réel est inférieur à 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSES BIOCHIMIQUES DES FARINES

Les bananes plantains braisées possèdent des teneurs en protéines comprises entre 2,35±0,5 et 3,25±0,5 % de MS. Les teneurs en protéines des bananes plantains sont inférieures à celles de des bananes plantains non braisées comprises entre 3,35±0,4 et 4,75±0,8 % de MS (Tableau II).

Les bananes plantains braisées présentent des teneurs en glucides totaux inférieures à celles de leurs bananes plantains non braisées. Les teneurs en glucides des bananes plantains sont comprises entre 88,85 et 91,23 % de MS alors que celles des bananes plantains non braisées sont comprises entre 92,75 et 95,23 % de MS (Tableau II).

Les teneurs en lipides des bananes plantains braisées comprises entre 0,3±0,1 et 0,5±0,1 % de MS sont inférieures à celles des bananes plantains non braisées comprises entre 0,5±0,2 et 0,7±0,4 % de MS (Tableau II).

Les bananes plantains braisées présentent des teneurs en cendres inférieures à celles des bananes plantains non braisées. Les teneurs en cendres des bananes plantains braisées sont comprises entre 0,48±0,3 et 0,8±0,1 % de MS alors que celles des bananes plantains non braisées sont comprises entre 1,25±0,5 et 1,95±0,6 % de MS.

Tableau 2. Paramètres biochimiques des bananes plantains braisées et non braisées

Cultivars	French Braisée	Faux Corne Braisée	Vrai Corne Braisée	French non braisée	Faux Corne non Braisée	Vrai Corne non Braisée
Protéines (% de MS)	3,25±0,5 ^a	2,85±0,2 ^e	2,35±0,5 ^h	4,75±0,8 ^m	3,35±0,4 ^w	3,85±0,3 ^a
Glucides totaux (% de MS) *	91,23 ^d	88,85 ^f	89,85 ^k	95,23 ^r	92,75 ^z	93,80 ^j
Lipides (% de MS)	0,5±0,1 ^b	0,3±0,1 ^g	0,35±0,3 ^g	0,7±0,4 ^l	0,5±0,2 ^b	0,52±0,1 ⁱ
Cendres (% de MS)	0,8±0,1 ^c	0,48±0,3 ^b	0,6±0,2 ^l	1,95±0,6 ^s	1,25±0,5 ^v	1,85±0,4 ^u

*Valeur obtenue par calcul

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Chaque valeur est une moyenne des résultats obtenus sur 5 essais ± écart type de cette moyenne.

3.2 PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

3.2.1 LA QUANTITÉ DE MATIÈRES SÈCHES TOTALES INGÉRÉES (MSTI) (G/J)

Au terme de l'expérimentation, les quantités de matières sèches des bananes plantains braisées ingérées par les rats utilisés sont comprises entre 10,15±0,2 et 11,26±0,1 %. Ces quantités de matières sèches des bananes plantains braisées ingérées par ces rats sont identiques à celles des bananes plantains non braisées ingérées comprises entre 9,35±0,4 et 10,05±0,8 % (Tableau III).

3.2.2 CROISSANCE PONDÉRALE ET GAIN DE POIDS

Au cours de la phase de croissance, les rats nourris aux régimes à base des bananes plantains braisées présentent des gains de poids supérieures à ceux des rats nourris par les régimes à base de bananes plantains non braisées. Les gains de poids des rats nourris par les bananes plantains braisées sont comprises entre 9,45±0,4 et 9,74±0,2 g/j alors que ceux des rats nourris par les bananes plantains non braisées sont comprises entre 8,75±0,5 et 9,23±0,2 g/j au seuil de 5 % (Tableau III).

3.2.3 ANALYSES SANGUINE ET URINAIRE

Les tests réalisés sur les urines et sang des rats *Wistar* utilisés révèlent des teneurs en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les urines et sang des rats nourris par les régimes à base de bananes plantains braisées et non braisées (Tableau III). Les teneurs en HAP du sang des rats nourris par les bananes plantains braisées sont comprises entre $2,3 \pm 0,6$ et $3 \pm 0,7$ g/ml alors que celles des rats nourris par les bananes plantains non braisées sont comprises entre $1,1 \pm 0,4$ et $1,8 \pm 0,5$ g/ml. Les teneurs contenues dans les sangs des rats nourris par les bananes plantains braisées sont supérieures à celles des rats nourris par les bananes plantains non braisées au seuil de 5 %. Les teneurs en HAP des rats nourris par les bananes plantains braisées sont comprises entre $1,2 \pm 0,3$ et $2 \pm 0,6$ mg/ml alors que celles des rats nourris par les bananes plantains non braisées sont comprises entre $0,5 \pm 0,4$ et $0,7 \pm 0,3$ mg/ml.

Tableau 3. *Caractéristiques nutritionnelles des régimes alimentaires à base de banane plantain et analyses sanguine et urinaire*

Cultivars	French Braisée	Faux Corne Braisée	Vrai Corne Braisé	French non braisée	Faux Corne non Braisée	Vrai Corne non Braisée
Quantité de matière sèche ingérée (%)	$11,26 \pm 0,1^a$	$10,15 \pm 0,2^a$	$10,56 \pm 0,0^a$	$10,05 \pm 0,1^b$	$9,35 \pm 0,4^b$	$9,85 \pm 0,3^b$
Gain de poids (g/j)	$9,74 \pm 0,2^b$	$9,45 \pm 0,4^b$	$9,50 \pm 0,16^b$	$9,23 \pm 0,2^c$	$8,75 \pm 0,5^c$	$8,80 \pm 0,7^c$
Indice de consommation	$1,16 \pm 0,1^d$	$1,07 \pm 0,1^d$	$1,11 \pm 0,3^d$	$1,06 \pm 0,4^d$	$1,07 \pm 0,2^d$	$1,12 \pm 0,1^d$
Coefficient d'Efficacité Alimentaire (g)	$0,86 \pm 0,1^e$	$0,93 \pm 0,3^e$	$0,90 \pm 0,2^e$	$0,92 \pm 0,6^e$	$0,93 \pm 0,5^e$	$0,89 \pm 0,4^e$
Teneurs en HAPs dans le sang (g/ml)	$3 \pm 0,7^f$	$2,3 \pm 0,6^f$	$2,6 \pm 0,2^f$	$1,8 \pm 0,5^g$	$1,1 \pm 0,4^g$	$1,3 \pm 0,6^g$
Teneurs en HAPs dans l'urine (g/ml)	$2 \pm 0,6^h$	$1,2 \pm 0,3^h$	$1,5 \pm 0,5^h$	$0,7 \pm 0,3^k$	$0,5 \pm 0,4^k$	$0,6 \pm 0,7^k$

Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Chaque valeur est une moyenne des résultats obtenus sur 5 essais $\pm$ écart type de cette moyenne.

4 DISCUSSION

4.1 ANALYSES BIOCHIMIQUES DES FARINES

Ces résultats corroborent les travaux de [16], qui affirme que la cuisson au-delà de 100°C des aliments entraîne la destruction des enzymes et autres protéines. Et aussi, [17] affirme que le traitement thermique affecte les protéines et les lipides. De plus, les teneurs en protéines des bananes plantains braisées et non braisées sont incluses dans l'intervalle de 3 à 5 % de matière sèche de la pulpe de banane plantain [18].

Nos résultats sur les teneurs en glucides totaux, confirment ceux de [19] qui affirment que la cuisson est néfaste pour les glucides totaux.

Ces résultats confirment ceux de [20] qui affirment que les protéines et les lipides qui sont des macromolécules les plus affectées par le traitement thermique. Les premières sont considérées comme hautement réactives et principalement altérables par la réaction de Maillard [20] alors que les seconds sont plutôt sensibles à une oxydation d'autant plus facile que leur degré d'insaturation est grand [21].

4.2 PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

4.2.1 LA QUANTITÉ DE MATIÈRES SÈCHES TOTALES INGÉRÉES (MSTI) (G/J)

Les quantités de matières sèches des bananes braisées ingérées sont supérieures à celles obtenues par [23] sur les rats *Wistar* nourris par les régimes à des fruits d'hybrides des bananiers plantains FHIA 17, FHIA 21 ingérées respectivement $9,38 \pm 0,05$ g/j et $9,41 \pm 0,08$ g/j. Par contre les quantités de matières sèches ingérées des bananes plantains non braisées sont identiques à celles obtenues par [23] sur des rats nourris par des régimes alimentaires à base des fruits de bananiers plantains FHIA 17 et FHIA 21.

4.2.2 CROISSANCE PONDÉRALE ET GAIN DE POIDS

Les gains de poids des rats nourris par les bananes plantains braisées sont supérieures à ceux des gains de poids des rats nourris par les fruits de bananiers plantain FHIA 17 et FHIA 21 non braisées obtenus par [23]. Les gains de poids et les ingestions considérables obtenus, nous indiquent l'impact positif sur la croissance des rats lors de l'ingestion des régimes à base de bananes plantains braisées et non braisées.

Les indices de consommation obtenus des régimes à base de bananes plantains braisées sont identiques à ceux des régimes à base de bananes plantains non braisées. Ces résultats corroborent les résultats de [23] qui affirment que les indices de consommation ne varient pas en fonction des régimes alimentaire. La faible valeur des indices de consommation serait due aux valeurs énergétiques très élevées des matières premières contenues dans les différents régimes confectionnés [24].

4.2.3 ANALYSES SANGUINE ET URINAIRE

La présence des molécules d'Hydrocarbures Aromatique Polycycliques (HAP) dans les urines et sang des rats nourris par les bananes plantains braisées et non braisées atteste la contamination et les risques de cancer liées à la consommation des bananes plantain braisées et vendues sur le marché de Man [13], [14]. En effet, selon ces auteurs les teneurs en HAP dans les urines, sang et fèces des rats sous forme métabolisée ou non, est susceptible de représenter un risque de cancer pour l'être humain ou animal incluant ces produits dans son régime alimentaire. Des études antérieures sur les animaux ont montré que les HAP de poids moléculaires élevés tels le BaP et le chrysène sont excrétés surtout dans les fèces alors que ceux de poids moléculaires plus faibles, comme le pyrène et l'anthracène, sont principalement éliminés dans l'urine [25], [26]. Les fortes teneurs en HAP dans les urines et sang des rats nourris par les bananes plantains braisées par rapport à celles des rats nourris par les bananes plantain non braisées seraient liées à la cuisson directe des bananes plantains sur le charbon de bois et aussi à la contamination de celles-ci par la pollution atmosphérique se déposant sur les fruits de bananiers plantains prélevées [27], [28]. En effet, selon ces auteurs les modes de cuisson tels que les grillades, le rôtissage, le fumage et notamment la préparation d'aliments grillés ou rôtis au charbon de bois, peuvent augmenter la concentration de HAP dans les aliments préparés. Les teneurs en HAP retrouvées dans les rats nourris par les bananes plantains non braisées pourraient être dues à une contamination des bananes plantains par l'environnement [29], [30]. En effet, la contamination des aliments peut se faire par le dépôt de particules aériennes sur les végétaux. Pour corroborer les dires de ces auteurs, nous avons remarqué que la plupart des vendeuses de bananes plantains braisées de la ville de Man sont assises en bordure des voies non bitumées et les bananes plantains braisées ou non braisées sont étalées en plein air sur du grillage et non protégées contre la poussière. Les tests de sang et d'urine peuvent déceler le cancer selon [15].

5 CONCLUSION

La banane plantain braisée est met ivoirienne qui se prépare directement sur le feu doux de charbon de bois. Cette forme de préparation est susceptible de provoquer le cancer chez ces personnes consommant les aliments rotis, braisés. Cette étude avait pour but de montrer les risques liés à la consommation des bananes plantains braisées vendues sur le marché de Man. Au terme de notre expérimentation animale, nous pouvons affirmer que la consommation régulière des bananes plantains braisées est un risque de cancer. Pour préserver sa santé, il serait judicieux de modérer la consommation des bananes plantains braisées et sensibiliser les vendeuses sur les risques liées à la contamination des bananes plantains braisées non protégées contre la pollution atmosphérique. Des études approfondies sur les types de Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) contenus dans les bananes plantains braisées nous permettront de connaître le degré de toxicité lié à la consommation des bananes plantains braisées vendues sur le marché de Man.

REMERCIEMENTS

A travers cet article, je tenais à remercier le personnel du laboratoire du CNRA section régionale de Bingerville pour le matériel, les produits et appareils mis à notre disposition pour la réalisation de ce travail. Sans oublier le personnel de laboratoire de Nutrition de l'Université Nangui Abrogoua à Abidjan.

REFERENCES

- [1] FAO.: Statistics production yearbook. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations; 187-189, 2013.
- [2] Daff.: The Australian Department of Agriculture. Annual Reports. Last reviewed, p.19, 2011.
- [3] Coulibaly S.: Caractérisation physico-chimique, rhéologique et analyse des fruits de quelques cultivars de bananier (Musa AAB, AAAA, AAAB), Thèse de Doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé spécialité: Sciences et Technologies des Aliments, Abobo-Adjamé, 171 p, 2008.
- [4] D. R. Oros and B. R. T. Simoneit. "Identification and emission factors of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning Part 2. Deciduous trees" *Applied Geochemistry*, vol. 16, 1545–1565, doi: 10.1016/S0883-2927 (01) 00022-1, 2001b.
- [5] Doornaert B., Pichard A., Gillet C. Hydrocarbures Aromatiques polycycliques (HAPs) Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes: Approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes: Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). INERIS-DRC-03-47026-ETSC-BDo-N°03DR177.doc, 63 p, 2003.
- [6] Albinet A.: Hydrocarbures aromatiques polycycliques et leurs dérivés nitrés et oxygénés dans l'air ambiant: caractérisation physico-chimique et origine, Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux 1, Spécialité: Chimie Analytique et Environnement, 409 p, 2006.
- [7] E. Benjamin, N'Dah K.J., A.A. N'Guissan, B. Doukouré. "Épidémiologie et histopathologie des cancers en Côte-d'Ivoire February 2012. *Journal africain du cancer / African Journal of Cancer*, vol. 4, N°1. DOI: 10.1007/s12558-011-0189-2, 2012.
- [8] International Agency for Research on Cancer (IARC). *World Cancer Report 2018 - International Agency for Research on Cancer (IARC)*, 2018.
- [9] Paris A.: Extractions et analyses des hydrocarbures aromatiques: approches méthodologiques et applications à des matrices fruitières. Thèse de Doctorat de l'Université de Caen Normandie. Spécialité: Sciences agronomiques, biotechnologies agro-alimentaires. 331 p., 2018.
- [10] D.E.F. Thiémélé, S. Traoré, N. Aby, P. Gnonhouiri, N. Yao, K. Kobenan, E. Konan, A. Adiko, N. Zakra. "Diversité et sélection participative de variétés locales productives de banane plantain de Côte d'Ivoire". *Journal of Applied Biosciences*; vol. 114, 11324-11335, 2017.
- [11] Kjeldah, "Bureau interprofessionnel d'Etude Analytique". *Recueil de méthodes Agronomie tropical*, vol. 37, 68-800, 1976.
- [12] AFNOR, "Association Française de Normalisation. Recueil des normes françaises des céréales et des produits céréaliers". Troisième édition. 1- 422, 1991.
- [13] A. Chahin, P. Yann, H. Guiavarc, M.A. Dziurla, T. Hervé, F. Cyril, and R. Guido,. "1-Hydroxypyrene in Milk and Urine as a Bioindicator of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure of Ruminants". *J. Agric. Food Chem*, vol. 56, 1780–1786, 2008.
- [14] FJ Van Shooten, FJ Jongeneelen, MJX Hillebrand, et al.: "Polycyclic aromatic hydrocarbon - DNA adducts in white blood cell DNA and 1-hydroxypyrene in the urine from aluminium workers: relation with job category and synergistic effect of smoking". *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, vol. 4, 69-77, 1995.
- [15] A. Chahin: Bioindicateurs métaboliques de l'exposition des ruminants laitiers aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP). Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Domaines Scientifiques: Biochimie, Métabolisme des xénobiotiques, Biologie animale, 196 p, 2010.
- [16] Buyse M.: Tractus gastro-intestinal et tissu adipeux brun: identification de nouvelles fonctions biologiques de la leptine. Thèse de doctorat en Pharmacie. Physiologie animale. Université de Paris Descartes, Paris, France, 146 p, 2001.
- [17] F.J. Tessier. "Effet de la cuisson des aliments sur les pertes en vitamines". *Correspondances en Métabolismes Hormones Diabète et Nutrition*, vol. 16, 150-153, 2012.
- [18] Gnagri D., 1993: Valorisation du fruit de plantain (Musa spp): I-Caractérisation physico-chimique de l'amidon. II- Etude nutritionnelle, métabolique et physiologique des aliments dérivés: foutou et fofou. Doctorat d'état ès-sciences. Abidjan, Côte d'Ivoire. 233 p.
- [19] S. Nafir-Zenati, G. Gallon and J-C. Favier: Effet de la cuisson sur la teneur en minéraux des épinards. ORSTOM fonds documentaire, 36.915, 7 p, 1993.
- [20] R.F. Hurrell et P.A. Finot. "Food processing and storage as a determinant of protein and amino acid availability". *Experientia Suppl*, vol. 44, 135-56, 1983.
- [21] K. Warner. "Impact of high-temperature food processing on fats and oils". *Adv Exp Med Biol.*; vol. 459, 67-77, 1999.
- [22] Z. Barampama and R. E. Simard. "Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, in-vitro starch digestibility and nutritive value of common beans". *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 48, 349-365, 1995.
- [23] K.A. Kouadio Kouakou, S. Coulibaly, Louise Ocho-Anin Atchibri, G. Kouamé & A. Meité. "Evaluation nutritionnelle comparative des fruits de trois hybrides de bananiers (CRBP 39, FHIA 17 et FHIA 21) avec ceux de la variété Orishele". *TROPICULTURA*, vol. 30, n°1, 49-54, 2012.

- [24] Tovignon G.: Influence des parties végétatives de manioc (*Manihot esculenta*) sur les performance zootechniques des aulacodes (*Thryonomys swinderianus*, Temminck, 1827) d'élevage, gestion de la faune. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'études spécialisées en gestion des ressources animales et végétales en milieux tropicaux, Gembloux faculté Universitaire des Sciences agronomiques, Université de Liège, communauté française de Belgique, 1-79, 2005.
- [25] ATSDR. "Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons". Atlanta (USA): ATSDR, 1995.
- [26] M. Bouchard et C. Viau. "Urinary and biliary excretion kinetic of 1-hydroxypyrene following intravenous and oral administration of pyren in rats". *Toxicology*, vol. 127, 69-84, 1998.
- [27] Crône M.: Diagnostic de sols pollués par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à l'aide de la spectrophotométrie UV. Thèse de Doctorat d'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Spécialité: Sciences et Techniques du Dechet, 183 p, 2000.
- [28] Lacoste M., 2008: Etude Des Phenomenes De Biotransformation Des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (Hap) Par Les Organismes Aquatiques (Poissons). Relation Exposition – Genotoxicite, Thèse de Doctorat de l'Université l'Universite Bordeaux 1, Specialite: Chimie Analytique de l'Environnement, 398 p.
- [29] OMS. Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Copenhagen 2nd, 2000.
- [30] V. Varlet, T. Serot, C. Knockaert, J. Cornet, M. Cardinal, F. Monteau, B. Le Bizec, C. Prost. "Organoleptic characterization and PAH content of salmon (*Salmo salar*) fillets smoked according to four industrial smoking techniques". *J. Sci Food Agr.*, vol. 87, n° 8, 847-854, 2007.

Tumeur fibreuse solitaire maligne: A propos d'un cas

[Malignant solitary fibrous tumor: A case report]

K. Idrissi Serhrouchni, I. Eliahai, M. Eljjar, J. Kharmoum, and M. Chraïbi

Service d'Anatomie Pathologique, Centre Hospitalier Universitaire de Tanger, Faculté de Médecine de Tanger, Université Abdelmalek Essadi, 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: Solitary fibrous tumor is a rare mesenchymal tumor. It located preferentially at pleural, rarely seen in extrathoracic sides. This tumor shows a high risk of local recurrence and a poor prognosis within an incomplete resection. The authors present a case of malignant solitary fibrous tumor in a 39-year-old woman, diagnosed at the antero-medial part of the left thigh. In trying to recall the clinical and pathological features and treatment of this rare entity.

KEYWORDS: Solitary fibrous tumor, mesenchyme, malignant, soft tissue.

RESUME: La tumeur fibreuse solitaire est une tumeur rare du mésenchyme. Elle se développe préférentiellement au niveau pleural, rarement en extrathoracique. C'est une tumeur qui présente un risque élevé de récurrences locales et dont le pronostic dépend de la qualité d'exérèse. Les auteurs présentent un cas d'une tumeur fibreuse solitaire maligne chez une patiente de 39 ans, diagnostiquée au niveau de la partie antéro-interne de la cuisse gauche. En essayons de rappeler des caractéristiques cliniques, pathologiques et thérapeutique de cette rare entité.

MOTS-CLEFS: Tumeur fibreuse solitaire, mésenchyme, malin, parties molles.

1 INTRODUCTION

La tumeur fibreuse solitaire maligne (TFSM) est une tumeur conjonctive rare. Les critères classiques de diagnostic de la malignité sont la cellularité élevée, l'activité mitotique élevée, le polymorphisme, l'hémorragie et la nécrose. Cette tumeur se développe préférentiellement au niveau pleural, cependant elle n'est pas restreinte aux surfaces séreuses. Des localisations diverses ont été rapportées dans la littérature, parmi ces localisations exceptionnelles, nous présentons l'observation d'une tumeur fibreuse solitaire maligne des parties molles de la cuisse, elle est documentée en imagerie, alors que le diagnostic a été retenu à l'examen histologique et immunohistochimique des prélèvements réalisés au niveau de la masse tumorale.

2 OBSERVATION

Il s'agit d'une patiente âgée de 39 ans, qui a présenté une tuméfaction de la partie antéro-interne de la cuisse gauche. L'examen clinique a retrouvé une masse mal limitée, de 13 centimètres de diamètre, non douloureuse et sans signes inflammatoires en regard. Les poulx d'aval ont été présents, avec des aires ganglionnaires libres. Un scanner thoraco-abdomino pelvien a objectivé une masse de 20 cm de grand axe au dépend du muscle psoas gauche, s'étendant au pelvis et refoulant le paquet vasculo-nerveux, avec des métastases pulmonaires. La scintigraphie osseuse était sans particularités. Une biopsie de la masse tumorale a été réalisée, l'examen histologique a révélé une prolifération tumorale fusocellulaire dont la cellularité varie par endroit (Figure 1,2).

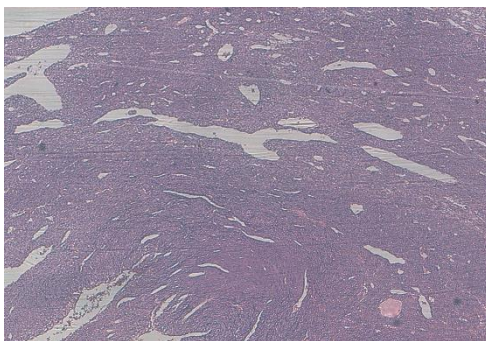


Fig. 1. *Prolifération tumorale fusocellulaire dont la cellularité varie par endroit (HESx10)*

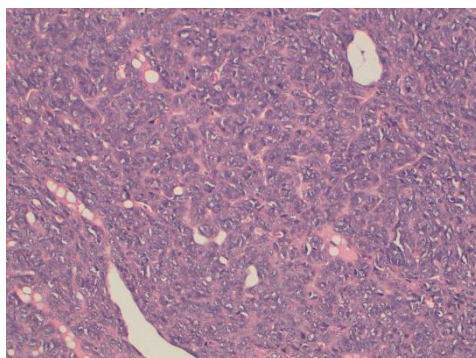


Fig. 2. *Prolifération tumorale faite de cellules fusiformes (HESx20)*

Les cellules tumorales présentent des atypies cytonucléaires manifestes avec de multiples figures de mitoses estimées à 12 mitoses/10 champs au fort grossissement (CFG) (Figure 3).

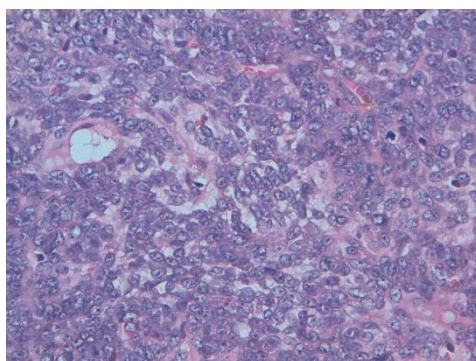


Fig. 3. *Les cellules tumorales présentent des atypies cytonucléaires manifestes avec de multiples figures de mitoses (HESx40)*

L'examen histologique est complété par une étude immunohistochimique qui a montré une franche positivité des cellules tumorales pour les anticorps anti- CD34 et anti-BCL2 (Figure 4, 5).

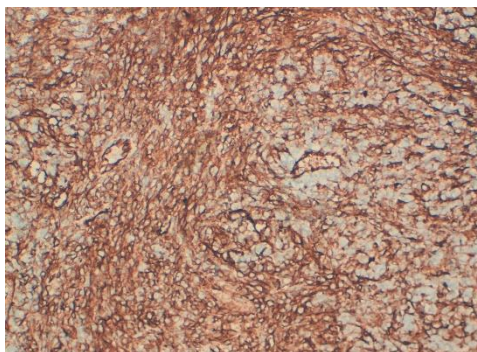


Fig. 4. Les cellules tumorales expriment le CD34

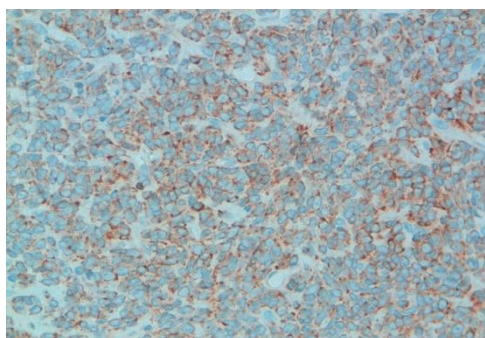


Fig. 5. Les cellules tumorales expriment le BCL2

Donc le diagnostic retenu est celui d'une tumeur fibreuse solitaire maligne.

La patiente a bénéficié de trois cures de chimiothérapie d'induction à base de MAI (adriablastine 50 mg /m², ifosfamide 1,8g/m² J1-J5, mesna 1,8g/m² J1-J5) sous couverture de facteurs de croissance). Une TDM thoraco –abdomino-pelvienne d'évaluation à 3 cures a objectivé une réponse ne permettant pas une chirurgie R0, d'où la continuation du traitement, une TDM thoraco –abdomino-pelvienne est programmée après 6 cures, la patiente est décédée avant la fin des cures.

3 DISCUSSION

La tumeur fibreuse solitaire (TFS) est une tumeur rare du mésenchyme, dont la première description a été faite par Klemperer et Rabin en 1931 [1]. Bénigne ou maligne, elle se développe préférentiellement au niveau pleural, Plus récemment, de multiples sites extrathoraciques ont été rapportés [2-3].

Les TFS extrathoraciques représentent environ 0,6% des tumeurs des tissus mous [4].

Leur faible agressivité clinique, leur caractère ubiquitaire et la capacité de simuler une multitude de néoplasies des tissus mous rendent le diagnostic de ces tumeurs mésenchymateuses difficile [1].

Cette tumeur survient de façon équivalente sans distinction de sexe [1], elle s'observe dans tous les groupes d'âge.

Anciennement connues sous les noms « mesothélioma fibreux bénin, fibrome pleural ou mesothélioma fibreux solitaire », ces lésions étaient considérées comme étant exclusivement pleurales. Actuellement, d'après plusieurs études histologiques et immunohistochimiques, il paraît clair que ces tumeurs soient mésenchymateuses non mésothéliales d'origine (myo) fibroblastique [5-6] et soient comparables à celles retrouvées en extrathoracique [7].

Cliniquement, la majorité des TFS extrathoraciques sont asymptomatiques. Après une longue évolution, l'apparition d'une masse douloureuse reste le principal signe [2]. Elle se manifeste sous forme d'une masse de taille variable, mais de limites régulières [8] et le plus souvent mobile. Dans notre cas, le caractère douloureux a manqué et les limites étaient irrégulières.

Ces tumeurs peuvent radiologiquement mimer toute lésion mésenchymateuse d'origine musculaire ou adipeuse. Le diagnostic final reste anatomopathologique.

Macroscopiquement, la tumeur est bien circonscrite et souvent encapsulée, translucide pesant entre 100 et 400 grammes. La taille est variable mais généralement entre 1 et 25 cm [9]. A la coupe, la surface apparaît fasciculée, lobulée et granuleuse, sa couleur est fréquemment grisâtre, parfois blanc-rosée [8].

Sur le plan histologique, on retrouve une prolifération plus ou moins dense de cellules fusiformes évoquant des fibroblastes, dispersées de façon plus ou moins ordonnée et soutenues par une trame de fibres de collagène d'abondance variable, la tumeur se caractérise par un aspect: «pattern- patternless». Les principaux signes de malignité sont représentés par un index mitotique élevé (supérieur à quatre mitoses par dix champs au fort grossissement), une densité cellulaire importante, des remaniements nécrotico-hémorragiques, un pléomorphisme nucléaire marqué et une invasion stromale ou vasculaire [10-13]. Dans notre cas les critères de malignité retrouvés sont la densité cellulaire très élevée, les atypies cytonucléaires marquée et l'index mitotique qui est estimé à 12 mitoses /10 champs au fort grossissement. Les autres éléments n'ont pas pu être évalué vu le caractère biopsique du prélèvement.

L'étude immunohistochimique des TFS montre classiquement une expression diffuse de la vimentine et du CD34, une expression d'intensité variable du CD99 et de la protéine bcl-2 et une négativité des marqueurs épithéliaux (cytokératine, EMA) et de la protéine S100 [14]. Dans notre cas les cellules tumorales ont franchement exprimé les anticorps anti-CD34 et anti-BCI2.

Certains facteurs de mauvais pronostic ont été évoqués comme la perte d'expression de l'antigène CD34, l'hyperexpression du Ki67 (MiB1) et de la protéine P53 [15].

Il existe une dizaine de diagnostics différentiels que la microscopie optique seule ne peut exclure l'un de l'autre [8-9] comme: l'histiocytome fibreux, la fibromatose, le fibrosarcome et l'hémangiopéricytome.

Le traitement de référence est la résection chirurgicale, qui permet en plus, la confirmation diagnostique par l'étude anatomopathologique. L'exérèse doit être complète, l'ablation incomplète de la tumeur représente un élément péjoratif pour l'évolution ultérieure [10; 15].

Le rôle des autres traitements n'est pas encore bien codifié. La chimiothérapie pourrait être intéressante dans les formes malignes inopérables d'emblée, une réduction significative de la taille d'un fibrome solitaire inopérable a été notée suite à un traitement à base d'ifosfamide et adriamycine [16]. Cette chimiothérapie pourrait se justifier en néoadjuvant, dans les tumeurs volumineuses ou en postopératoire, en cas de résection incomplète [15]. La radiothérapie pourrait également être indiquée après résection chirurgicale, en cas de signes histologiques de malignité, surtout si cette résection a été incomplète. Son intérêt réel reste encore à démontrer.

La majorité des récides surviennent les deux premières années suivant l'intervention chirurgicale, justifiant ainsi une surveillance par une radiographie et/ou une TDM tous les six mois pendant cette période. Des métastases à distance ont été également rapportées [14; 16].

Le pronostic vital est principalement tributaire d'une éventuelle récide locale, la résection complète offre un taux de survie de 80% à 5 ans.

4 CONCLUSION

La TFSM est une tumeur rare. Son diagnostic est histologique, largement facilité par l'immunohistochimie. La chirurgie est la base du traitement et le rôle des thérapies adjuvantes (chimio- et radiothérapie) reste encore à préciser. Une surveillance étroite est nécessaire en raison du risque de récide ou de métastase.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Pas de conflits d'intérêts

REFERENCES

- [1] Couazzani A., Delrée P., De Saint aubain N., Ceutirik M. Tumeur fibreuse solitaire maligne de la paroi abdominale chez un homme. *Annales de chirurgie plastique esthétique* 2008; 53: 517-520.
- [2] Gold JS, Antonescu CR, Hajdu C, Ferrone CR, Hussain M, Lewis JJ, et al. Clinicopathologic correlates of solitary fibrous tumors. *Cancer* 2002; 94: 1057-68.
- [3] Sun Y, Naito Z, Ishiwata T, Maeda S, Sugisaki Y, Asano G. Basic FGF and KI-67 proteins useful for immunohistological diagnostic evaluations in malignant solitary fibrous tumor. *Pathol International* 2003; 53: 284-90.
- [4] Ammar A., El Hammami S., Souisi Z., Chtourou A.. Une tumeur fibreur rare de la paroi thoracique: La tumeur fibreuse solitaire maligne. Elsevier Masson 2007; 63: 65-66.
- [5] Chan JKC. Solitary fibrous tumour-everywhere, and a diagnosis in vogue. *Histopathology* 1997; 31: 568-76.
- [6] El-Naggar AK, Ro JY, Ayala AG. Localized fibrous tumor of the serosal cavities: immunohistochemical, electron microscopic and flow cytometric DNA study. *Am J Clin Pathol* 1989; 92: 561-5.
- [7] Vallat-Decouvelaere AV, Dry SM, Fletcher CD. Atypical and malignant solitary fibrous tumors in extrathoracic locations: evidence of their comparability to intra-thoracic tumors. *Am J Surg Pathol* 1998; 22: 1501-11.
- [8] Graadt J.F., Hogendoorn P.C.W. Solitary fibrous tumour: the emerging clinicopathologic spectrum of an entity and its differential diagnosis. *Current Diagnostic Pthology* 2004; 10: 229-235.
- [9] Cardillo G, Facciolo F, Cavazzana A, Capece G, Gasparri R, Martelli M. Localized (solitary) fibrous tumors of the pleura: an analysis of 55 patients. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 1808-12.
- [10] Léna H, Desrues B, Caullet-Maugendre S, Le Coz A, Huet H, Delaval P. Le fibrome pleural: apport de l'immunohistochimie. *Rev Mal Respir* 1995; 12: 383-5.
- [11] Ali SZ, Hoon V, Hoda S, Heelan R, Zakowski MF. Solitary fibrous tumor: a cytologic-histologic study with clinica, radiologic and immunohisto-chemical correlations. *Cancer* 1997; 81: 116-21.
- [12] England DM, Hochholzer L, McCarthy M. Localized benign and malignant fibrous tumors of the pleura. *Am J Sur Pathol* 1989; 13: 640-58.
- [13] Leroy X, Copin MC, Petit S, Moukassa D, Gosselin B. Tumeur fibreuse solitaire pleurale maligne avec expression focale de cytokeratine. *Ann Pathol* 2001; 21: 153-6.
- [14] Jougon J, Minniti A, Bégueret H, Dromer C, Delcambre F, Velly JF, et al. Tumeur fibreuse solitaire de la plèvre. *Rev Pneumol Clin* 2002; 58: 35-8.
- [15] Perrot M, Fisher S, Brüdler M, Sekine Y, Keshavjee S. Solitary fibrous tumors of the peural. *Ann Thorac Surg* 2002; 74: 285-93.
- [16] Liu CC, Wang HW, Li FY, Hsu PK, Huang MH, Hsu WH, et al. Solitary fibrous tumors of the pleura: clinicopathological characteristics, immunohistochemical profiles and surgical outcomes with long-term follow-up. *Thorac Cardiovasc Surg* 2008; 56: 29167.

Small-duct Primary Sclerosing Cholangitis associated with type IIIb Autoimmune Polyglandular Syndrome: A rare combination

Rokhsi Soukaina, Adioui Tarik, Aourarh Benayad, Touibi Abdelfettah, Igorman Hasna, Berrag Sanaa, Tamzaourte Mouna, and Aourarh Aziz

Department of Gastroenterology, Military Hospital Mohammed V, 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: Objective: To report an uncommon presentation of a rare case of autoimmune polyglandular syndrome type IIIb in a patient presenting as well with Small Duct Primary Sclerosing Cholangitis. Clinical Presentation and Intervention: A 42-year-old man presented with jaundice and intermittent fever. Blood tests showed macrocytic anaemia due to vitamin B 12 deficiency compatible with Biermer's disease. A thyroid function test was consistent with hyperthyroidism compatible with Basedow's disease. And Liver biopsy revealed signs compatible with Small Duct Sclerosing Cholangitis. A final diagnosis of Small Duct Sclerosing Cholangitis with Biermer's disease and Basedow's disease, which constituted autoimmune polyglandular syndrome type IIIb, was made and the patient was treated with L-thyroxine, vitamin B 12 injection and Ursodeoxycholic acid with a impressive improvement during his follow up. Conclusion: This case showed a rare combination between APS type IIIb and Small Duct Sclerosing Cholangitis and that the presence of one autoimmune endocrine disease should prompt clinicians to look for other coexisting autoimmune diseases which may be asymptomatic.

KEYWORDS: Small-duct, Sclerosing Cholangitis, type IIIb, Autoimmune, Polyglandular, Syndrome.

1 INTRODUCTION

Autoimmune polyglandular syndrome (APS) is a rare form of autoimmune disorder involving at least two glandular autoimmune-mediated diseases [1].

The APS is an association of endocrine and non-endocrine organ-specific autoimmune diseases [2], and is divided into four types:

- a) APS I, characterized by the presence of at least two of the following situations: Addison's disease, chronic hypoparathyroidism and chronic candidiasis;
- b) APS II, associating Addison's disease with autoimmune thyroiditis and/or diabetes mellitus 1;
- c) APS III, associating an autoimmune thyroiditis with other autoimmune diseases (such as diabetes mellitus 1, atrophic gastritis and pernicious anemia, vitiligo, alopecia and myasthenia gravis), except for Addison's disease and/or hypoparathyroidism;
- d) APS IV, characterized by the combination of autoimmune diseases that do not fall into the categories already mentioned [3].

The APS III, can be subdivided according to the associated autoimmune disease: APS III (a), when the patient has diabetes mellitus 1; APS III (b), characterized by the presence of atrophic gastritis and pernicious anemia and APS III (c) when there is vitiligo, severe alopecia or myasthenia [4].

Autoimmunity, environmental factors, and genetic are the 3 major factors that should be considered in the physiopathology of APS III.

We report the case of a patient presenting with an extremely rare combination of APS III (b) associated with Primary Sclerosing Cholangitis.

2 CASE REPORT

A 42 years old male patient presented to the Gastroenterology unit with symptoms of jaundice and intermittent fever. He had a personal history of Ag Hbe negative chronic HBV infection. No endocrine or autoimmune diseases were mentioned in his family. Physical examination revealed palor, tachycardia, jaundice and pedal edema. Laboratory tests found macrocytic anemia with hemoglobin at 5.2 g/dl and VGM at 103 fl, a lymphopenia, and thrombocytopenia. The patient had a low reticulocyte rate estimated at 12000/ul and a low rate of VitB12. His oesophagoduodenoscopy showed no abnormalities except duodenal lymphangiectasis. Histological features found atrophic gastritis compatible with Biermer's disease.

The patient had elevated liver enzymes and prothrombin level was at 67%. Abdominal ultrasonography showed a cirrhosis liver without ascites or hepatocellular carcinoma nodules. Viral serologies B and C, autoimmune hepatitis and storage disorders tests were negative.

Liver biopsy revealed portal areas with essentially mononucleated leukocyte infiltrate almost completely erasing the bile ducts that are not individualized after immunolabeling by the anticytokeratin antibody 7.

These histologic features were compatible with a Small Bile Ducts Primary Sclerosing Cholangitis (PSC).

The rectosigmoidoscopy examination found no evidence of chronic inflammatory bowel disease.

Their thyroid profile revealed a high free T4 level and very low thyroid-stimulating hormone level. The thyroperoxidase antibody and thyroid receptor antibody were detected. Thyroid gland ultrasonography revealed a small homogeneous diffuse goiter.

The electrocardiogram found sinus tachycardia with electrical left ventricular hypertrophy. Trans-thoracic ultrasound found an atrial disease secondary to thyrotoxicosis.

The oesophagoduodenoscopy showed no abnormalities except duodenal lymphangiectasis but on the other hand histological features found compatible signs with Biermer's disease.

Based on these results, the patient was diagnosed as having Graves' disease, Biermer's disease, and PSC. Treatment with 30 mg per day of carbimazole and propranolol was started for Grave's disease.

Ursodeoxycholic acid with increasing doses was started for the PSC and Intramuscular injections of Hydroxocobalamin for the Biermer disease.

During their follow-up, the patient's thyroid hormones, liver enzymes and B12 levels improved gradually and returned to the normal range afterwards.

Hence, long-term follow-up and screening for other possible glandular involvements is necessary for the patient.

3 DISCUSSION

Autoimmune polyglandular syndrome as a group of autoimmune diseases in which multiple endocrine organs are targets was first described by Addison in 1855 in a patient with idiopathic adrenal insufficiency, pernicious anemia and vitiligo [5].

Subsequently the association between diseases in APS was noted not to be at random but in particular combinations and that some non-endocrine autoimmune diseases were also part of the syndromes. Therefore in 1980 and after clinical observations, Neufeld and Blizzard suggested a classification of APS, based on clinical criteria only, and described four main types summerized in Table1 [6]:

Table 1. Classification of the APS

APS-1 Chronic candidiasis, chronic hypoparathyroidism, Addison's disease (at least two present)
APS-2 Addison's disease (always present) + autoimmune thyroid diseases and/or type 1 diabetes mellitus
APS-3 Autoimmune thyroid diseases associated with other autoimmune diseases (excluding Addison's disease and/or hypoparathyroidism)
APS-4 Combinations not included in the previous groups

In APS III patients, Addison's disease is absent, while autoimmune thyroiditis is an essential element. APS III can be complicated by type 1 diabetes, pernicious anemia and autoimmune hepatitis [7,8].

As described, the findings of the present case are compatible with a diagnosis of APS III.

By reviewing the literature, and to the best of knowledge we confirm that this is a rare combination that has never been reported.

The prevalence of APS type IIIb is unknown. It is more often met in middle-aged women but it can occur in people of any age [9].

This article reports the case of a previously healthy young patient, who presents with hepatic manifestations leading to the diagnosis of Primary Sclerosing Cholangitis. Afterwards they were diagnosed with pernicious anemia and Grave's disease, which is consistent with the diagnosis of APS type III (b).

Primary sclerosing cholangitis (PSC) is a chronic immune-mediated disease of intra-and extrahepatic bile ducts, primarily affecting large ducts. Its insidious course related to progressive fibrostenotic structuring of the biliary tree causes important clinical sequelae, including liver cirrhosis, portal hypertension, and end-stage liver disease. Unlike primary biliary cholangitis (PBC), which affects small bile ducts and predominantly occurs in females, PSC affects more often males, with a median age of presentation of ~40 years [10]. PSC is associated with a range of autoimmune conditions, such as Autoimmune thyroiditis, Celiac disease and Inflammatory bowel disease. [10, 11, 12] and by detecting many autoantibodies in the sera of patients, suggesting a possible role of immunological abnormalities in the etiology of this disease.

The detection of antibodies is sufficient for the diagnosis of autoimmune disease of the thyroid. Positive Anti-thyroid peroxidase antibody (anti-TPO) are strongly indicative markers of autoimmune thyroiditis and are present in 90% of disease cases and currently used to define the existence of an autoimmune thyroiditis. Thyroid stimulating hormone receptor antibody (TRAb) are present in 20 to 50% of patient [13]. The presence of positive anti- TPO and TRAb, associated with low levels of Thyroid-stimulating hormone were enough for diagnosis of autoimmune thyroiditis type Grave's disease in the case presented.

Pernicious anaemia is a sequela of autoimmune chronic atrophic gastritis that involves the fundic glands and is characterized by severe gland atrophy [12]. Almost 90% of patients have antibodies directed against the parietal cells [14]. As a result, pernicious anaemia leads to vitamin B 12 malabsorption and subsequently B 12 deficiency. This patient had both anti-gastric parietal cell and anti-intrinsic factor antibodies negative but the diagnosis was based on a low rate of VitB12 and histological features compatible with Biermer's disease.

Gastrinaemia wasn't measured but hypergastrinaemia is a known complication of long-standing achlorrhya due to a lack of acid secretion by the parietal cells of the stomach. The pronounced hypergastrinaemia (>1,000 pg/ml) likely leads to subsequent hyperplasia of gastric enterochromaffin-like cells which predisposes to gastric malignancy [15]. Close monitoring for detection of gastric carcinoid tumours, which have been reported in 3–5% of patients with hyperplasia of gastric enterochromaffin-like cells, should also be performed [15]. Furthermore, pernicious anaemia is also associated with an increased risk of gastric cancer [16].

The treatment of APS depends on the organ involved and the accompanying hormonal deficiencies. This patient was treated with ursodeoxycholic acid associated with Carbimazole as well as intramuscular vitamin B 12 injections which he will require as lifelong therapy.

However, it is important to highlight that autoimmune adrenalitis with accompanying adrenal insufficiency must be excluded before commencement of treatment with l-thyroxine in patient with autoimmune hypothyroidism [17].

Thus, regular and long-term glandular function monitoring seems necessary. This is important because early recognition and appropriate therapy can be lifesaving, particularly when the glandular failure involves the adrenal glands. Although the

gland involvement in APS type III is usually limited to 2 or 3 glands, extensive involvement of up to 7 autoimmune diseases with extensive circulating antibodies including anti-glutamic acid decarboxylase antibodies and islet cell antibodies has been reported [18].

4 CONCLUSION

This patient with APS type IIIb represents an exceptional autoimmune association with PSC. The clustering of these organ-specific autoimmune disorders suggests an underlying defect toward autoimmunity, which may be relevant for further understanding of the pathogenesis of PSC.

REFERENCES

- [1] Kahaly GJ, « Polyglandular autoimmune syndromes », *Eur J Endocrinol*, 161 (2009), pp. 11–20.
- [2] Michels AW, Gottlieb PA, « Autoimmune polyglandular syndromes », *Nat Rev Endocrinol*. 270 (2010), pp.6-7.
- [3] Betterle C, Zanchetta R, « Update on autoimmune polyendocrine syndromes (APs) », *Acta Biomed*, 74 (2003), pp. 9-33.
- [4] M J Molina Garrido, C Guillén Ponce, M Guirado Risueño, A Mora, A Carrato, « Pluriglandular autoimmune syndrome. Systematic review », *An Med Interna*, 24 (9), 445-452.
- [5] Addison T., « 1855 on the constitutional and local effects of disease of the suprarenal capsules », In a collection of the published writing of the late Thomas Addison, M.D., physician to Guy's Hospital. London: New Sydenham Society 1868. Reprinted in *Medical Classics* 1937; 2: 244-93.
- [6] Neufeld M, Maclaren N, Blizzard R., « Autoimmune polyglandular syndromes », *Pediatr Ann*. 1980 Apr; 9 (4): 154-62. PMID: 6990358.
- [7] Usa T, Eguchi K., « Autoimmune polyglandular syndrome », *Sogorinsho* 58: 1605-1608, 2009.
- [8] Neufeld M, Maclaren NK, Blizzard RM, « Two types of autoimmune Addison's disease associated with different polyglandular autoimmune (PGA) syndromes », *Medicine (Baltimore)*, 60 (1981), pp. 355-362.
- [9] Aung K, Salmon M., « Polyglandular autoimmune syndrome, type III », *Endocrinology (electronic book)*. 2006: 1-8.
- [10] Chapman R, Fevery J, Kalloo A et al., « Diagnosis and management of primary sclerosing cholangitis », *Hepatology*, 2 (2009), pp. 660–678.
- [11] Lindor K, Kowdley K, Harrison M, « ACG clinical guideline: primary sclerosing cholangitis », *Am J Gastroenterol*. 5 (2015), pp. 646–659.
- [12] Rea DJ, Heimbach JK, Rosen CB, et al., « Liver transplantation with neoadjuvant chemoradiation is more effective than resection for hilar cholangiocarcinoma », *Ann Surg*, 3 (2005), pp. 451–461.
- [13] Vieira A, Carrilho F, Carvalheiro M., « Tiroidites auto-imunes: apresentação clínica e tratamento », *Rev Port Endocrinol Diabetes Metab* (2008), pp. 45-56.
- [14] Davidson RJ, Atrah HI, Sewell HF, et al., « Longitudinal study of circulating gastric antibodies in pernicious anaemia », *J Clin Pathol*, 42 (1989), pp. 1092–1095.
- [15] Harvey RF, Bradshaw MJ, Davidson CM, et al., « Multifocal gastric carcinoid tumours, achlorhydria, and hypergastrinaemia », *Lancet*, 1 (1985), pp. 951–954.
- [16] Ahn MJ, Han D, Park YJ, et al., « A case of type IIa early gastric cancer developed in pernicious anemia », *J Korean Med Sci*, 13 (1998), pp. 81–84.
- [17] Dittmar M, Kahaly GJ, « Polyglandular autoimmune syndromes: immunogenetics and long-term follow-up », *J Clin Endocrinol Metab*, 88 (2003), pp. 2983–2992.
- [18] Shimomura H, Nakase Y, Furuta H, et al., « A rare case of autoimmune polyglandular syndrome type 3 », *Diabetes Res Clin Pract*, 61 (2003), pp. 103–108.

Sensibilité des Salmonelles Typhimurium vis-à-vis des extraits totaux de *Costus afer* in vitro

[Sensitivity of *Salmonella* Typhimurium to total extracts of *Costus afer* in vitro]

Tshipele Ondas Arnold¹, Pitu Mbabu Hugo¹, Pungi Phambu Sandrine², Futi Yi Nkimi Sambu¹, Mayina Phuati Cloery¹,
and Nlandu Khonde Alphonse¹

¹Institut Supérieur de Techniques Médicales de Tshela (ISTM, TSHELA), RD Congo

²Institut Supérieur d'Études Agronomiques de Tshela (ISEA, TSHELA), 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: Typhoid fever remains, today, a major public health problem worldwide with a universal estimate of 12 to 33 million annual cases. It is caused by a strictly human species, *Salmonella typhi*, discovered since 1880 by Eberth. Typhoid fever has long been the cause of human disasters across the world: in the 17th century, for example, 600 people died from this disease in James Town in Virginia (USA). Indeed, the defective hygienic conditions of our immediate environment place *S. typhi* at the first rank of the main causes of food poisoning, typhoid fever is also the main disease of « dirty hands ». Formerly effective, most antibiotics have shown their limits: which leads researchers to turn to plants (traditional medicine) to assess their sensitivity to salmonella typhi. *Costus afer* has been used in certain regions as a medicinal decoction against hemorrhoids and liver diseases for a long time, we thought to test in vitro its activity against *S. typhi*. Of this research, 67% of the typhus strains tested were sensitive below 3%, the strains became resistant: 33% for greatly reduced concentrations.

KEYWORDS: Sensitivity, total extracts, *costus afer*, *Salmonella*.

RESUME: La fièvre typhoïde demeure encore, de nos jours, un grand problème de santé publique dans le monde entier avec une estimation universelle de 12 à 33 millions des cas annuels. Elle est causée par une espèce strictement humaine, *la Salmonella typhi* découvert depuis 1880 par Eberth. Depuis longtemps, la fièvre typhoïde cause des désastres humains à travers le monde: au XVII^e siècle par exemple, 600 personnes sont mortes de cette affection à James Town en Virginie (USA). En effet, les conditions hygiéniques défectueuses de notre environnement immédiat placent *le S. typhi* au premier rang des causes principales des toxiques – infections alimentaires, la fièvre typhoïde constitue d'ailleurs la principale maladie des « mains sales ». Jadis efficaces, la plupart d'antibiotiques ont montré leur limite: ce qui pousse les chercheurs à se tourner vers les plantes (médecine traditionnelle) pour évaluer leur sensibilité vis-à-vis de *salmonella typhi*. *Le Costus afer* est utilisé dans certaine région comme décoction médicamenteuse contre les hémorroïdes et les affections hépatiques depuis longtemps, nous avons pensé tester in vitro son activité vis-à-vis de *S. typhi*. De ces recherches, 67% des souches typhiques testées furent sensibles en deçà de 3%, les souches devenaient résistantes: 33% pour des concentrations fortement diminuées.

MOTS-CLEFS: Sensibilité, extraits totaux, *costus afer*, *Salmonella*.

1 INTRODUCTION

Depuis la première observation d'Eberth concernant le Bacille typhique (1880), et ensuite la découverte des autres *Salmonelles* (il se déroule plus d'un siècle), demeurent toujours un problème sanitaire important aussi bien dans les pays développés que ceux en développement.

Le *Salmonella typhi*, espèce strictement humaine, est un pathogène qui cause la fièvre typhoïde. A ce jour, on dénombre 12 à 33 millions des cas annuels à travers le monde.

Cause principale des toxi – infections alimentaires dans nos milieu à hygiène fécale, « **péril fécal** », défectueuse, **le *S.typhi*** est transmise par voie orale: on parle alors des maladies des mains sales

A cause de l'hygiène fécale et alimentaire précaire en RDC en général, et dans la cité de Tshela/ Kongo Central en particulier, la fièvre typhoïde devient une endémie permanente, avec des flambées épidémiques de temps à temps.

Remarque de systèmes sanitaires adéquats, l'usage abusif et irrationnel d'antibiotiques jadis efficaces ainsi que la précarité des conditions hygiéniques rendent cette affection grave c'est pourquoi, la fièvre typhoïde représente la troisième cause de consultations médicales dans notre zone de santé après les infections respiratoires et le paludisme.

Actuellement, nous constatons une augmentation des cas de résistances des souches isolées vis – à – vis des antis biotiques, ce qui contribue à compliquer le problème. Ce phénomène de multi résistance de souches de *S.typhi* a été observé pour la première fois en 1987 lors des épidémies de fièvre typhoïde en Afrique et en Asie ⁽²⁾.

C'est pourquoi, devant cette impasse et la vitesse d'émergence de la sélection de souches multiresistantes, l'OMS recommande la recherche de nouvelles molécules à base de plantes médicinales locales afin de combattre efficacement cette maladie grave.

C'est ainsi qu'ayant constaté que les extraits totaux **de *Costus afer*** étaient utilisés comme traitement dans les affections suivantes: pneumopathies, origines, paludisme, incontinence urinaire, jaunisse, nous avons pensé les tester *in vitro* contre **le *S.typhi***

D'ailleurs, **le *Costus afer*** est couramment utilisé comme plante médicinale en Afrique tropicale et plusieurs usages ont été confirmés par des évaluations systématiques des composés actifs de différentes parties de la plantes.

Devant ces vertus de la plante, nous nous sommes posés la question de savoir si les extraits totaux de *Costus afer* ne pouvaient pas avoir une activité antibactérienne in vitro vis-à-vis **de *S.typhi***.

Sachant que les extraits totaux de sa tige sans écorce possédé une activité anti – typhique, la détermination de la CMI (concentration minimale inhibitrice) de cette décoction s'avérait impérieuse pour une utilisation efficiente. De de cette molécule (principe actif).

Tout en contribuant à la lutte contre les Salmonelloses en général, et la fièvre typhoïde en particulier, cette étude vise à tester l'activité anti – salmonella des extraits totaux **de *Costus afer* in vitro**.

Comme objectif principal, cette étude vise à:

- ❖ Tester la sensibilité de salmonella typhi vis – à vis des extraits totaux de **costus afer in vitro**.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 SITE D'ÉTUDE

Cette étude s'est déroulée dans la cité de Tshela chef de Territoire du même nom, plus précisément à l'Institut supérieur des techniques Médicales de Tshela (ISTM en sigle).

2.2 ECHANTILLON D'ÉTUDE

La sélection des souches de **salmonella typhi** était sur le milieu de culture sélectif (Mac Conkey), de l'étude des caractères biochimiques. Les extraits totaux de **costus afer** étaient obtenus après broyage de la pulpe de la tige de **costus afer**.

L'exclusion des souches des autres entérobactéries et d'autres parties de **costus afer**.

Notre échantillon était ainsi constitué de six différentes concentrations des extraits de *costus afer* pesés et des souches (colonies) de *S. Typhi*.

2.3 MÉTHODES

Cette étude transversale et prospective, basée sur l'expérimentation a consisté à utiliser les extraits totaux de *costus afer* comme inhibiteur contre la *salmonella typhi* dans le Mac Conkey (Milieu sélectif).

3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 MATÉRIEL

3.1.1 SITE DE RÉCOLTE DES ÉCHANTILLONS DE COSTUS AFER ET S. TYPHI

Les colonies des *S typhi* ont isolées à partir de laboratoire de cliniques universitaires de Kinshasa transportées dans l'eau peptonnée.

Les tiges de *costus afer* étaient récoltées dans la forêt à deux kilomètres du campus de l'Institut Supérieur de Techniques médicales de Tshela.

3.1.2 MATÉRIEL UTILISÉS

- Une machette
- Boite de Petri
- Tubes à essai
- Ouate sec
- Un broyeur
- Un mortier
- Un pilon
- Incubateur
- Anse de platine bouclée
- Aux de platine efilée
- Une balance de précision digital
- Une plaque chauffante pour la préparation de milieux de culture
- Erlenmeyer
- Cylindre gradué
- Autoclave
- Portoir pour tubes à essai.
- Une moto pour atteindre la forêt

3.1.3 RÉACTIFS UTILISÉS

- Milieux de culture: Mac conkey
- Eau peptonnée pour la préparation de l'inoculum

3.2 MÉTHODES

3.2.1 PRÉLÈVEMENT DES SOUCHES DE SALMONELLA TYPHIMURIUM

Après isolement sur le macconkey, suivie de l'identification sur le kligler, citrate sinons, et riu au laboratoire, de clinique universitaire de Kinshasa, les souches pures de *S. thphri* était obtenues.

3.2.2 RÉCOLTE DES TIGES DE COSTUS AFER

Dans la forêt le long de la rivière, les tiges de costus afer étaient coupées grâce à une machette.

3.2.3 BROYAGE DES TIGES COSTUS AFER.

Pour les extraits totaux aqueux le broyage s'effectuait dans un mortier grâce à un pilon et le jus était obtenu après filtration sur une compresse hydrophile.

Par contre, les extraits totaux solides, les tiges de costus afer passaient d'abord au séchage à la température ambiante de laboratoire avant d'être broyer au broyeur.

3.2.4 SENSIBILITÉ DES STYPHI VIS- À VIS DE DIFFÉRENTS EXTRAITS TOTAUX DE COSTUS AFER SUR LE MACCONKEY.

1. Pour les extraits totaux aqueux, les différents volumes de jus étaient mélangés respectivement dans les différentes boîtes de pétri contenant le MacConkey après sa préparation et stérilisation immédiatement après la récolte, avant la solidification du Mac Conkey.

2. En ce qui concerne les extraits totaux solides, après avoir posé les différentes concentrations, des extraits totaux solides étaient ajoutées dans les différentes boîtes de pétri contenant le Mac Conkey avant la solidification de ce dernier.

En fin pour les deux types d'extraits totaux nous procéderons par l'ensemencement de l'inoculum de styphi sur les différentes boîtes de pétri de Mac Conkey combiné aux extraits totaux.

4 RÉSULTATS

Les résultats de notre recherche sont repris dans différents tableaux qui suivent:

Tableau 1. *Résultats de la sensibilité de salmonella typhimurium vis- à-vis des extraits totaux solide de costus afer*

Mac Conkey	Concentration des extraits totaux solide	Résultats à près 24 heure
Boite de petri 1	500mg	+
Boite de petri 2	450mg	+
Boite de petri 3	400mg	+
Boite de petri 4	350mg	+
Boite de petri 5	300mg	+
Boite de petri 6	250mg	+
Boite de petri 7	200mg	+
Boite de petri 8	150mg	-
Boite de prtri 9	100mg	-
Boite de petri 10	50mg	-

Légende:

+: Sensible

-: Résistant

Ce tableau montre que sur dix boîtes de pétri contenant le mélange Mac Conkey et extraits totaux solides de costus afer, la salmonella typhi s'est montrée sensible dans sept boîtes de pétri sur 10, soit 70%.

Par contre, elle a été résistante dans trois boîtes de pétri sur 10, soit 30%.

Tableau 2. *Résultats de l'inhibition de la Salmonella typhimurium par des extraits totaux aqueux de costus afer*

Mac Conkey	Volume des extraits totaux aqueux en ml	Résultats en 24 heures
Boite de pétri 1	5ml	+
Boite de pétri 2	4,5ml	+
Boite de pétri 3	4ml	+
Boite de pétri 4	3,5ml	+
Boite de pétri 5	3ml	+
Boite de pétri 6	2,5ml	+
Boite de pétri 7	2ml	-
Boite de pétri 8	1,5ml	-
Boite de pétri 9	1ml	-
Boite de petri10	0,5ml	-

Légende:

+: Sensible

-: Résistant

Il ressort de ce tableau que l'inhibition de *S. typhi* par des extraits totaux aqueux de *costus fer* est fonction de volume ou de la quantité de ces derniers car sur dix boîtes de pétri du mélange MacConkey et extraits totaux aqueux, la salmonella Typhi a été inhibé à 60% soit six boîtes de pétri sur dix.

Par contre sa résistance a été observé dans quatre boîtes avec une fréquence de 40% soit quatre boîtes de pétri sur dix.

5 DISCUSSION

De cette étude de la sensibilité de la salmonella typhimurium vis-à-vis des extraits totaux solides et aqueux de *Costus afer* in vitro nous pouvons retenir ce qui suit:

Le tableau I sur les résultats de la sensibilité de la Salmonella Typhimurium vis-à-vis des extraits totaux solides de *costus Afer* indique que sur les dix boîtes de pétri contenant la combinaison MacConkey et extraits solides de *costus afer*, la Salmonella Typhimurium s'est montrée sensible dans sept boîtes de Pétri sur dix soit 70%. Par contre, elle s'est révélée résistante dans trois boîtes de pétri sur dix, soit 30% cette fréquence élevée observer de la sensibilité de salmonella typhimurium dans ce tableau serait due à la concentration considérable du principe actif dans cette combinaison Mac Conkey et extraits totaux aqueux.

Par contre, la résistance remarquée dans ce tableau pourrait se justifier par la faible concentration du principe actif dans le mélange MacConkey extrait totaux solides.

Le tableau II sur les résultats de l'inhibition de la Salmonella Typhi par les extraits totaux aqueux de *Costus afer*; stipule que l'inhibition de *S typhi* par les extraits totaux aqueux de *Costus afer* est fonction de volume ou de la quantité de ces derniers car sur le mélange Mac Conkey et extraits totaux aqueux, la Salmonella typhimurium a été à 60 dans les boîtes à forte quantité d'extraits totaux aqueux soit six boîtes de pétri sur dix.

Par contre, sa résistance a été observée dans quatre boîtes avec une fréquence de 40% soit quatre boîtes pétri sur dix.

Cette inhibition constatée de la Salmonella à 70% pourrait se justifier par le fait que les extraits totaux aqueux dépouillés de particules solides seraient constitués en majorité que de principe actif.

La résistance de Salmonella typhi observée serait due au faible volume des extraits totaux aqueux de *Costus afer*.

Notre étude carobore avec Kara Sk et al dans multidrug résistance typhoïde fever, démontrant la résistance de la Salmonella typhi aux antibiotiques.

En outre, BRIDG E et Hannia dans micropropagation and determinantion of the in vitro stability of *Annona cherinala* Mill and *Annona muricata*, où ils confirment l'activité d'*Annona muricata* et ses vertus ainsi son action sur certains micro organismes.

6 CONCLUSION

L'objectif principal de cette étude était de contribuer à la lutte contre la salmonellose et la fièvre typhoïde et aussi de promouvoir la recherche de traitement à base des plantes médicinales à base de costus afer.

Deux types d'extraits totaux étaient utilisés comme inhibiteur pour tester la sensibilité de S.typhimurium: extraits totaux aqueux et solides.

Après leurs mélange le macconkey suivie de l'inoculum, la sensibilité de Salmonella typhimurium a été observer vis-à-vis des deux extraits totaux.

Ainsi, une prédominance de la fréquence d'inhibition de S.typhi par rapport à sa résistance aux deux types d'extraits totaux a été remarquée.

REFERENCES

- [1] ABUCESO p et al (2000), Blood culture confirmed typhoid fever in a provincial hospital in the Philippine's Southeast Asian journal of tropical Medicine and public heath. P.6, 32.
- [2] Bernard Boullard. Plantes médicinales du monde: croyances et réalités. De Boeck Secundair, 2001 -636p.
- [3] BRING et Hannia: Micropropagation and determination of the in vitro stability of Anna cherimola Mill and Annoma muricata.
- [4] GUTAm. V et al. sensitivity pattern of Salmonella Serotypes in northerm India. Braziliam Journal of Infections diseases. P6,7.
- [5] HEITHOFF DM, Shimp WR et al Intraspecies Variation in the emergence of hyper infections bacterial Strains in Nature Plospathog. 2012; 8 (4): 1002647.
- [6] Johannes Seideman. World Spice Plants; Economic Usage, Botany, Taxonomy. Springer Sciences & Business Media, 13 Juin 2005 – 591 p.
- [7] KASA. SK et al (2000): Multidrug – resistance thyphoïde fever, tropical doctor, P. 7, 30, 195.
- [8] PROTA, Plante médicinales, 2008 -869p.
- [9] Visuel Rocky Mountain laboratoires, NIAID, NIH "la salmonella typhimurium envahit les cellules humaines cultivés. Doi: 10.1371/journal.ppat.1002647.

Évaluation des connaissances et attitudes des mères sur la prise en charge de la diarrhée dans le secteur de Nganda Tsundi, territoire de Tshela dans la province du Kongo Central en RDC

[Assessment of mothers' knowledge and attitudes on the management of diarrhea in the Nganda Tsundi sector, Tshela territory in Kongo Central province in the DRC]

Pitu Mbabu Hugo

Institut Supérieur de Techniques Médicales de Tshela, 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: Acute diarrhea is a cause of death due to lack of knowledge on proper care by mothers in the NGANDA TSUNDI sector in Tshela territory in DRC. The high observed mortality rate is due to mothers' ignorance of the management of diarrhea. The objective of this work was to assess the knowledge and attitudes of mothers on the management of diarrhea in the community among children from 0 to 5 years old in the sector of NGANDA TSUNDI. The samples of our research were collected in 5 villages of the aforementioned sector among mothers living in one of the five villages present on the day of our survey and having agreed to answer our questions. Indeed, the results showed that out of a total of 240 mothers surveyed: With regard to knowledge about the prevention of diarrhea at home, 140 respondents or 41% washed their hands, followed by those doing a good cooking and conservation of food with 21% and concerning the variable use of latrine with 6%. Regarding knowledge of the signs of diarrhea, 52% of mothers know the signs of diarrhea. Regarding the knowledge of home treatment for diarrhea, 67% of our respondents ignore the use of antibiotics, followed by those who use rice water with 58%.

KEYWORDS: Assessment, knowledge, diarrhea, mother, community.

RESUME: La diarrhée aiguë est une cause de décès par manque des connaissances sur une bonne prise en charge par les mères dans le secteur de NGANDA TSUNDI dans le territoire de Tshela en R.D.C. le taux élevé de la mortalité observé est dû à l'ignorance des mères sur la prise en charge de la diarrhée. Ce travail avait pour objectif d'évaluer les connaissances, attitudes des mères sur la prise en charge de la diarrhée dans la communauté chez les enfants de 0 à 5 ans dans le secteur de NGANDA TSUNDI.

Les échantillons de notre recherche étaient récoltés dans 5 villages dudit secteur précité; chez les mères habitant l'un des cinq villages, présente le jour de notre enquête et ayant accepté de répondre à nos questions.

En effet les résultats ont démontré que sur un total de 240 mères enquêtées:

-Pour ce qui est de la connaissance sur la prévention de la diarrhée à domicile, 140 enquêtés soit 41% lavaient les mains, suivies de celles faisant une bonne cuisson et conservation des aliments avec 21% et concernant la variable usage de latrine avec 6%.
-En rapport de la connaissance des signes de la diarrhée, 52% des mères connaissent les signes de la diarrhée.
-Concernant la connaissance de traitement à domicile de diarrhée, 67% de nos enquêtés ignorent l'usage des antibiotique, suivie de celles qui utilisent l'eau de riz avec 58%.

MOTS-CLEFS: Evaluation, connaissance, diarrhée, mère, communauté.

1 INTRODUCTION

La diarrhée est une quantité des selles émises dans un volume plus important que normale (plus de 300 grammes par jours) et avec une plus grande fréquence (plus de trois fois selles par jours). Les selles sont généralement liquides, mais parfois simplement molles, accompagnées de glaires ou de sang et d'un cortège de symptôme variables dépendant de la cause de la diarrhée. Il est même possible dans certains cas que ce ne soit que de l'eau ou un liquide transparent. Dans les extrêmes, comme le choléra, plus de 20 litres de fluides ne peuvent être perdus par jour. Les diarrhées sont la cause seconde cause de mortalité infantile dans les pays du tiers monde après les pneumonies et sont responsables de 18% des morts d'enfants de moins de 5 ans.

La diarrhée aiguë de l'enfant est un problème de santé publique à l'échelle mondiale d'après l'OMS.

Elle est la cause de la morbidité et d'une mortalité considérable dans les pays en voie de développement mais aussi elle est la cause d'une morbidité non négligeable dans les pays développés ce qui explique tous les efforts déployés pour traitement.

La diarrhée aiguë infantile représente un enjeu majeur de santé publique dans le monde. En 2000, on a estimé que les maladies diarrhéiques ont causé entre 1,4 et 2,5 millions d'hôpital décès.

Dans les pays industrialisés, le nombre de décès par la diarrhée aiguë est relativement faible, mais elle continue cependant à être une importante cause de morbidité et induit des coûts substantiels en matière de soins.

On observe dans les pays à faible niveau d'hygiène, les maladies transmissibles liées au risque fatal dont les incidences augmentent avec l'absence des équipements collectifs assurant l'alimentation des populations en eau potable.

Dans le territoire de Tshela, province de Kongo Central en RDC, l'hôpital général de référence Pandji de Tshela sur 28 enfants admis en 2017, 10 présentant les diarrhées, cinq d'entre eux meurent (registre de HGR Pandji/ Tshela).

2 MÉTHODES

Notre étude était descriptive et transversale réalisée dans cinq village (PHALANGA NDENGA, KIMBAUKA, MBANZA, KINDONGO, MBUKU DUNGU) du secteur de NGANDA TSUNDI, territoire de Tshela du 10/02 au 20 juin 2021.

Les enquêtes ont été menées chez les mères des enfants 0 à 5 ans de deux sexes.

Les critères d'inclusion ont été les suivants:

- Être habitant de secteur de NGANDA TSUNDI et de l'un des villages de notre étude;
- Être présente le jour de notre enquête;
- Avoir au moins un enfant de 0 à 5 ans;
- Avoir accepté de répondre librement nos questions.

Les paramètres étudiés étaient: l'âge, connaissance de signes de la diarrhée aiguë, connaissance sur la prévention de la diarrhée à domicile et connaissance sur le traitement à domicile de la diarrhée.

3 RÉSULTATS

Cette étude avait pour intérêt celui d'évaluer les connaissances et attitudes des mères sur la prise en charge de la diarrhée dans la communauté dans cinq villages (PHALANGA NDENGA, KIMBAUKA, MBANZA, KINDONGO, MBUKU DUNGU) de secteur de NGANDA TSUNDI, territoire de Tshela, province de Kongo Central en R.D.C dont 240 mères ont pris part.

Les résultats de cette recherche sont repris dans les différents tableaux ci-après:

Tableau 1. Répartition des mères sur la connaissance des signes de la diarrhée aigue

Paramètres	FA	FO	%
Mères avec connaissance	240	125	52
Mères sans connaissance	240	115	48
Moyenne	240	120	50

Il ressort de ce tableau que 52% des mères ont une connaissance sur les signes de la diarrhée aiguë par contre 48% en sont dépourvues.

Tableau 2. Répartition des enquêtés selon la tranche d'âge

N°	Tranche d'âge	n	%
1	15-20 ans	11	5
2	21- 26 ans	42	18
3.	27- 32 ans	112	47
4.	33- 38 ans	63	26
5.	39- 45 ans	12	5
	Total	240	100

Ce tableau montre que la tranche d'âge de 27 à 32 ans est la plus rencontrée avec 112 cas sur un total de 240 soit 47% suivi de celle de 33 à 38 ans avec 26% soit 63 cas; par contre les tranches d'âges le moins rencontrées sont celles de 15 à 20 ans et 39 à 45 ans avec 5%.

Tableau 3. Répartition des enquêtés sur la connaissance de prévention de la diarrhée à domicile

N°	Variables	FA	FO	%
1	Usage des latrines	240	15	6
2	Lavage des mains	240	140	41
3	Bonne cuisson et conservation des aliments	240	50	21
4	Lavage des légumes et fruits	240	35	15
	Moyenne	240	60	25

Ce tableau stipule que la majorité des enquêtés font le lavage des mains avec une fréquence de 41%, suivie de la bonne cuisson et conservation des aliments avec 21%, par contre la minorité des enquêtés ne font pas usage des latrines avec une fréquence de 6% soit 15 cas sur un total de 240.

Tableau 4. Répartition des enquêtés sur la connaissance de traitement à domicile de la diarrhée

N°	Variables	FA	FO	%
1	SRO	240	90	38
2	Pas d'antibiotiques	240	160	67
3	L'eau de riz	240	140	58
4	Consulter la structure sanitaire proche	240	55	23
	Moyenne	240	1112	46

Ce tableau indique 67% des enquêtés ne citent pas d'antibiotiques, 58% citent l'eau de riz, par contre 38% parlent de SRO et enfin 23% de la consultation de la structure sanitaire proche.

4 DISCUSSION

Le tableau I sur la répartition des mères sur la connaissance des signes de la diarrhée aiguë montre 52% des mères ayant une connaissance et 48% de celles qui sont dépourvues. Cette connaissance observée de 52% serait due par les efforts menés par le ministère de la santé par le biais de la zone de santé rurale de Tshela dans la promotion de la santé.

Ces résultats sont contraires à la nôtre car La plupart des mères (79,8%) ont mal défini la diarrhée (selles molles et/ou verdâtres indépendamment du nombre d'évacuation par jour); ce qui est beaucoup plus élevé que d'autres études effectuées à FagitaLekoma, en Éthiopie (65,4%), à Karachi, au Pakistan (52,5%).

Le tableau II sur la répartition des enquêtés selon la tranche d'âge stipule que la tranche d'âge de 27 à 32 ans est la plus rencontrée avec 112 cas sur un total de 240 soit 47% suivie de celle de 33 à 38 ans avec 26% soit 63 cas par contre les tranches d'âge les moins rencontrées sont celles de 15 à 20 ans et 39 à 45 ans avec 5%.

La fréquence élevée de la tranche d'âge de 27 à 32 ans pourraient se justifier du fait que cette tranche d'âge regorge les mères pour la plupart qui sont multipares.

Le tableau III sur la répartition des enquêtés sur la connaissance de la prévention de la diarrhée à domicile indique que la majorité des enquêtés font le lavage des mains avec une fréquence de 41%, suivie de la bonne cuisson et conservation des aliments avec 21% par contre la minorité des enquêtés n'utilisent pas les latrines avec une fréquence de 6% soit 15 cas sur 240.

Le pourcentage élevé de 41% des mères faisant usage du lavage des mains pourrait se justifier par le fait que cette pratique fait partie de la notion d'hygiène élémentaire. Des résultats similaires ont été observés à Kashan en Iran, à Fagita Lekoma en Éthiopie et à Assosa en Éthiopie.

Le tableau IV sur la répartition des enquêtés sur la connaissance de traitement à domicile de la diarrhée montre que 67 % des enquêtés ne citent pas d'antibiotiques dans le traitement de la diarrhée, 58% citent la variable l'eau de riz, 38% parlent de SRO et enfin 23% de la variable consultation de la structure sanitaire proche.

Cette fréquence observée de 67% de la variable pas d'antibiotiques est due au fait la majorité de mères villageoises ignorent les informations précises sur le traitement à base d'antibiotique.

Le résultat est différent de la communauté de Heidedal (90%), du district de Taung (83,6%), de la communauté du Swaziland (97%) et celui de l'Afrique du Sud où la SRO est fortement privilégiée. Cela a été expliqué par le mauvais goût du SRO d'après les mères enquêtées, le manque de connaissance du réel enjeu de la déshydratation dans la diarrhée et de la place du SRO dans le traitement de la diarrhée.

On constate d'après les résultats que les recommandations du traitement de la diarrhée aiguë sont encore insuffisamment bien suivies, notamment la réhydratation par du SRO. Le choix d'autres boissons pour la réhydratation est encore trop fréquent malgré une composition inadaptée ou inconnue en sucre et en électrolytes. Ces résultats sont les mêmes que ceux de Vic et al en Éthiopie d'après une enquête faite auprès de médecins sur la prise en charge de la diarrhée aiguë du nourrisson et de l'enfant.

A part la réhydratation orale, la réalimentation précoce et la poursuite du lait maternel sont aussi préconisées. La plupart des mères ne connaissait pas ce concept dans notre étude. Les mêmes résultats ont été retrouvés par Djadou au Togo appuyé par l'étude faite par Vic et al en France et Folquet au Cote d'Ivoire.

5 CONCLUSION

Au regard des résultats observés après notre étude, nous pouvons conclure que la connaissance de mères et leur implication dans la prise en charge de la diarrhée sont les facteurs importants dans la réduction de la mortalité chez les enfants de 0 à 5 ans dans la communauté.

Par contre, le manque de la sensibilisation et l'ignorance des mères sur la prise en charge de la diarrhée constituent un facteur favorisant de la morbi-mortalité due à la diarrhée.

REFERENCES

- [1] Barbieri, M1993: les déterminants de la mortalité des enfants dans le tiers monde, les dossiers du CEPED, Paris, 40p.
- [2] Ben Bernou L., LAMDJANDANI, OUMAR O. 2000: ministère de la santé et de la population direction de la prévention sous-direction santé maternelle et infantile guide de prise en charge de la diarrhée chez l'enfant, Alger, ed.
- [3] Black RE, Morris SS, Bryce J. Where and why are 10 million children dying every year Lancet.2003; 361 (9376): 2226–34.
- [4] DackamN.R.1990: l'éducation de la mère et la mortalité des enfants en Afrique, cahier de l'IFORD, N°2.
- [5] Desta BK, Assimamaw NT, Ashenafi TD. Knowledge, practice, and associated factors of home-based Management of Diarrhea among caregivers of children attending under-five Clinic in FagitaLekoma District, Awi zone, Amhara regional state, Northwest Ethiopia, 2016.Nurs Res Pract.2017; 2017: 8084548.
- [6] Djadou KE, Tsolényanu A, Koffi S, Dokounor D, Bakondé B., Agbèrè AD. Connaissances des mères en matière de lutte antidiarrhéique à l'hôpital de Tsévié (Togo). Archives de pédiatrie 14 (2007) 492–4.
- [7] Farthing (2008): diarrhée aiguë chez les enfants de moins de cinq ans.
- [8] Folquet M, Assé V, Kouadio E, Dainguy ME, Diomandé D, Kouakou C et al. Recommandations internationales au cours de la diarrhée aiguë de l'enfant et habitudes de prescriptions à Abidjan. Journal de Pédiatrie et de puericulture2014; 27: 130-10.
- [9] Fournier 2008: diarrhée chez les enfants, Ed. Lancet, Paris éd. Vol3.
- [10] Gauthier 2002: memento alimentaire en restaurant, max Brazil éd.
- [11] Ghasemi AA, Talebian A, MasoudiAlavi N, Moosavi G. Knowledge of mothers in management of diarrhea in under-five children, in Kashan, Iran. Nurs Midwifery Stud.2013; 1 (3): 158–62.
- [12] Lapika 2000: entretiens inédits sur la conception anthropologique et sociologique de la diarrhée en RDC.
- [13] Merga N, Alemayehu T. Knowledge, perception, and management skills of mothers with under-five children about diarrhoeal disease in indigenous and resettlement communities in Assosa District, Western Ethiopia.J Health Popul Nutr.2015; 33 (1): 20–30.
- [14] Mumtaz Y, Zafar M, Mumtaz Z. Knowledge attitude and practices of mothers about diarrhea in children under 5 years. J Dow Uni Health Sci. 2014; 8 (1): 3-6.
- [15] Othero DM, Orago AS, Groenewegen T, Kaseje DO, Otengah PA. Home management of diarrhea among underfives in a rural community in Kenya: household perceptions and practices. East Afr J Public Health. 2008; 5 (3): 142–6.
- [16] Rébeillé-Borgellaa B, Barbiera C, Moussaouia R, Faisanta A, Michard-Lenoira AP, Rubio. A. Nasogastric rehydration for treating children with gastroenteritis. Arch de Pédiatr 2017; 24: 527-33.
- [17] Vic P, Pouliquen-Coquet M, Hébert J, Le Moigno M, Robert Dehault A. Diarrhée aiguë des nourrissons, évaluation des pratiques des médecins généralistes. Arch de Pédiatr 2016; 23: 105-11.
- [18] Rabbi SE, Dey NC. Exploring the gap between hand washing knowledge and practices in Bangladesh: a cross-sectional comparative study. BMC Public Health. 2013; 13: 89.

Esquisse sur la détermination des valeurs de référence de l'hémoglobine et de l'hématocrite des enfants de 0 à 5 ans dans l'ex-cité de Tshela

[Sketch on the determination of the reference values of hemoglobin and hematocrit of children aged 0 to 5 years in the former city of Tshela]

Mbakulu Mbila Moise¹, Nzau Mbadu Matoko Don Jose¹, Bazinga Maba Basile¹, and Vangu Mvutu Cocco²

¹Institut supérieur des techniques médicales de Tshela (ISTM, Tshela), RD Congo

²Institut supérieur des techniques médicales de Kidima (ISTM, Kidima), 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: Healthy subjects, considered as « reference », generally biological samples whose analysis provides acceptable results as « reference values » to assess the pathological states of patients of the same age, of the same sex, living in the same environments and environmental conditions.

One of the possible means of studies that a medical biologist can use for research in determining baseline values of hemoglobin and hematocrit and to compare the results obtained in sick subjects to those in healthy subjects, because hemoglobin is a heteroprotein whose main role is the transport of oxygen (O₂) and carbon dioxide (CO₂).

KEYWORDS: Sketch, reference values, Hematocrit.

RESUME: Les sujets en bonne santé, considérés comme « référence », généralement des échantillons biologiques dont l'analyse fournit des résultats acceptables comme « valeurs de référence » pour apprécier les états pathologiques des patients de même âge, du même sexe, vivant dans les mêmes milieux et conditions environnementales.

L'un des moyens d'études possible qu'un biologiste médical peut utiliser pour des recherches dans la détermination des valeurs de référence d'hémoglobine et l'hématocrite et de comparer les résultats obtenus chez les sujets malades à ceux des sujets en bonne santé, car l'hémoglobine est une hétéroprotéine dont le rôle principal est le transport de l'oxygène (O₂) et le gaz carbonique (CO₂).

MOTS-CLEFS: Esquisse, valeurs de référence, Hématocrite.

1 INTRODUCTION

L'importance de la détermination du taux de l'hémoglobine et de l'hématocrite s'avère important dans le diagnostic de l'anémie chez un patient. Ainsi la détermination de leur valeur de référence est capitale dans nos laboratoires médicaux. D'après l'OMS (1982), la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, ne consistant pas seulement en l'absence d'infirmités ou de maladies. Actuellement, il est clair que la place du biologiste est de connaître et d'apprécier par les équilibres sanguins l'état de santé d'une communauté (population) donnée, mais aussi l'individu par des valeurs quantifiables pour définir l'état de « bonne santé » ou de la « maladie » (17; 18).

Le concept de valeurs de référence est très capital puisque les variabilités observées par rapport à la race, à l'environnement, à l'âge et au sexe sont trop importantes. Il serait difficile d'interpréter des résultats biologiques d'un patient

de Tshela en tenant compte des valeurs de référence produites ailleurs, à partir d'une population estimée non comparable car vivant dans des conditions tout à fait différentes (18).

Les valeurs de référence servent à montrer les différents espaces des valeurs que peuvent présenter les résultats des tests de biologie médicale chez les sujets en bonne santé d'un groupe d'individus défini; leur production et leur présentation font l'objet des recommandations internationales (IFCC – CLSI). Elles sont présentées sous forme d'intervalles de référence avec des limites inférieures et supérieures déterminées par des méthodes statistiques, parfois complexe, et devraient être exprimées dans le système international d'unités. Il faut noter que le terme « valeurs de référence » est préféré à celui de « valeurs usuelles », « valeurs normales » ou « normes » mêmes si ces dernières sont souvent utilisées (17; 18).

En outre, un test biologique est, en Médecine, un examen du bilan médical dont le but est de compléter le diagnostic du patient et d'apporter des informations complémentaires aux prescripteurs. Ces examens sont prescrits dans un but de dépistage, de diagnostic ou de surveillance; les différentes variables mesurées en biologie varient en fonction des individus, dans des limites données chez des individus en bonne santé (intervalles de référence), et l'interprétation des résultats des examens biologiques effectués chez un patient dépendent notamment des intervalles de référence déterminés pour chaque constituant.

Généralement, les valeurs de référence de biologie médicale utilisées dans beaucoup de laboratoires médicaux de la RDC sont celles dont les intervalles ont été déterminés, pour la plupart, sur des échantillons de populations caucasiennes en bonne santé, et ces valeurs peuvent se révéler différentes pour un autre type de population.

L'hémoglobine et l'hématocrite sont les paramètres importants dans le diagnostic de l'anémie. C'est pourquoi leur détermination au laboratoire devrait répondre aux normes capables de donner la réalité de l'état du patient ou de l'individu selon son contexte dans le milieu où il vit (1; 4; 9).

Etant donné que les valeurs de référence de l'hémoglobine et de l'hématocrite en cours d'utilisation dans nos formations médicales intervalles de référence de ces paramètres biologiques dans nos laboratoires permettra tant soit peu une bonne interprétation des résultats. Selon les recommandations internationales, les intervalles de référence doivent être déterminés par chaque laboratoire avec les méthodes analytiques qu'il utilise.

Ainsi, un individu de référence est une personne sélectionnée en fonction de critères précisément définis, supposée en bonne santé, de même âge, de sexe que le patient vivant dans des conditions bien déterminées. La population de référence rassemble tous les individus de références sélectionnés (18).

Dans notre pays en général, et dans notre ville en particulier, l'anémie sévère nécessitant une transfusion sanguine reste une des causes majeures de la morbi- mortalité chez les enfants de 0 à 5 ans. C'est pourquoi, le dosage de l'hémoglobine et la détermination de l'hématocrite constituent des analyses clés le diagnostic de ces anémies en Pédiatrie.

Comme objectifs, cette étude vise à:

- Mettre à la disposition du personnel soignant de la cité de Tshela, des valeurs de référence d'hémoglobine et d'hématocrite précises et fiables à partir d'une population de référence vivant dans les mêmes conditions que les patients qu'il est censé prendre en charge;
- Comparer les valeurs ainsi obtenues à celles de la littérature afin de relever les convergences et les divergences éventuelles.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 SITE D'ÉTUDE

Cette étude s'est déroulée dans l'ex-cité de Tshela chef-lieu de Territoire du même nom, plus précisément à l'école maternelle Bana SCAM, Abbé Serge et Maman Angel ainsi que l'église Liloba na Nzambe.

Administrativement, l'ex- cité de Tshela était créée par l'ordonnance n°21/021/430 du 23/10/1937, modifiée par celle n°21/384 du 10/12/1953, elle a été agréée par l'ordonnance portant de Numéro 87/232 du 29 janvier 1987, signée par Président de République du Zaïre, Aujourd'hui République Démocratique du Congo. Elle est subdivisée en trois quartiers: KABILA, GENERAL MASIALA et KASA-VUBU, Chef –lieu du District du Bas-fleuve et du Territoire portant le même nom. En juin 2013, la Cité de Tshela a été conférer à un statut d'une ville, constituée de trois communes: Kasa-vubu, Luvu et Tshela par le Décret n° 13/028 du 13 juin 2013. Ce statut n'est pas maintenu lors de la réforme administrative mise en place en 2015. Jadis Chef-lieu de l'entité administrative décentralisée dénommée Tshela.

Du point de vue Géographique, l'ex- cité de Tshela a une superficie des 20 km². Elle est d'une manière générale, limitée par des frontières naturelles:

Au nord, par le mont sala et le groupement administratif de Kizu;

Au sud, ce avec les rivières Ngomamba et KOZO, ainsi que avec une chaine de montagnes qui le sépare du groupement Niolo,

A l'est par les rivières Mazebe, Lubuzi et les montagnes qui forment ses limites naturelles avec les groupements Mbanga et Ngunda;

A l'ouest par les rivières Mazebe, Lubuzi et Tumba-Tombo ainsi que avec les groupements Niolo et Yanga.

2.2 POPULATION ET ÉCHANTILLON D'ÉTUDE

La sélection de la population de référence était faite sur base des critères rigoureux: l'âge, le sexe, l'exclusion d'enfants malades ou sous thérapeutique. Ainsi, notre échantillon était constitué de 75 individus de 0 à 5 ans, dont 34 de sexe masculin et 41 de sexe féminin, de l'année scolaire 2016 – 2017.

2.3 MÉTHODES

Basée sur l'expérimentation, cette étude transversale et prospective a consisté à la détermination de l'hématocrite par la micro méthode (centrifugation et lecture directe) et au dosage de l'hémoglobine par la technique de Drabkin, utilisant le réactif de Drabkin qui transforme l'hémoglobine en cyneméthénoglobine.

Pour l'analyse de nos résultats, le logiciel Excel dans Microsoft office 2007 a été utilisé pour calculer la moyenne et l'écart type. L'intervalle de référence est présenté selon la formule: $x \pm 2S$ (Moyenne $\pm$ deux écarts – types).

3 RÉSULTATS

Sont repris dans les tableaux ci – dessous, les résultats des examens hématologiques de sang des enfants de deux sexes et d'âges variant de 1 à 60 mois des écoles maternelles Bana SCAM, Abbé Serge, Maman Angel et église liloba na Nzambe de la cité de Tshela.

Tableau 1. Répartition de l'échantillon selon le sexe

Sexes	Effectif	%
Masculin	34	45
Féminin	41	55
Total	75	100

Il ressort de ce tableau que notre échantillon était à prédominance féminine, 54,7% contre 45,3%, sex ratio de 1,2: 1.

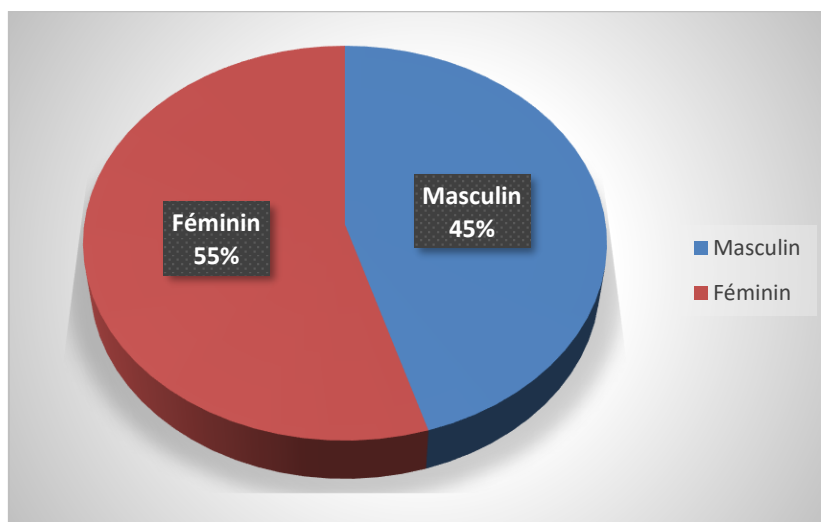


Fig. 1. Répartition de l'échantillon selon le sexe

Tableau 2. Présentation de l'échantillon selon l'âge

Ages (en mois)	Effectif	%
1 – 15	23	30,7
16 – 30	18	24
31 – 45	19	25,3
46 – 60	15	20
Total	75	100

Ce tableau nous indique que la tranche d'âges de 1 à 15 mois a été la plus représentée avec 23 cas soit 25,3%. Les tranches de 16 – 30 mois et de 46 – 60 mois ont respectivement 18 cas et 15 cas, soit 24% et 20%.

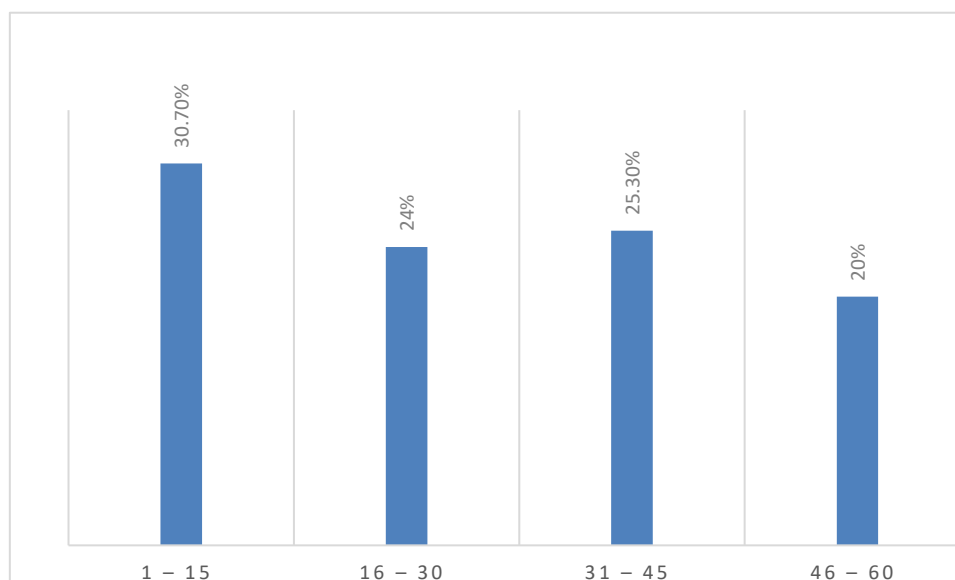


Fig. 2. Présentation de l'échantillon par tranche d'âge

Tableau 3. Résultats obtenus et données statistiques calculées

Paramètre	Effectif	Moyenne (X)	Ecart – type (S)	Valeurs de référence estimées	Valeurs de référence de la littérature
Hémoglobine	75	11,5g/dl	0,9	9,7 -13,3g/dl	11 -14g/dl
Hématocrite	75	38,4%	2,18	34,0 – 42,8%	37 – 42 %

Ce tableau indique les valeurs de référence estimées ou obtenues après le dosage de l'hémoglobine et la détermination de l'hématocrite ainsi que celles utilisées couramment et fournies par la littérature.

De cette étude, il ressort que l'hémoglobine présente un intervalle de référence de 9,7 à 13,3g/ dl alors que l'hématocrite varie de 34 à 42,7 %; la moyenne étant de 11,5g/dl pour un écart – type de 0,9 (Hb) et de 38,4% pour 2,18 d'écart – type (Hct).

4 DISCUSSION

Au regard de la méthodologie et des résultats de notre étude, nous pouvons faire des commentaires ci-après:

- De la caractéristique de l'échantillon, nous remarquons que le sexe féminin a été le plus représenté que le sexe masculin. Ceci peut se justifier par le poids démographique du sexe féminin par rapport au sexe masculin. Concernant les tranches d'âges, les enfants de 1 à 15 mois et de 16 à 30 mois sont les plus représentés. Ceci se justifie par le nombre d'enfants de l'église Liloba na Nzambe, car les classes de maternelles ne comptent que ceux âgés de plus de 30 mois.
- Des résultats obtenus; les moyennes calculées sont respectivement de 11,5g/dl pour l'hémoglobine et de 38,4% pour l'hématocrite avec des écarts – types de 0,9 et 2,18. Selon les recommandations internationales sur les valeurs de référence, celles – ci doivent être déterminées sous forme d'intervalle de référence selon la formule: $x \pm 2S$

Ainsi, les intervalles de référence obtenus sont respectivement de 9,7 – 13,3g/dl pour l'hémoglobine et de 34 – 42,7% pour l'hématocrite. Ces valeurs sont différentes de celles fournies par la littérature en cours d'utilisation dans notre milieu, qui donnent pour l'hémoglobine l'intervalle de 11,0 – 14,0g/dl et pour l'hématocrite celui de 37 – 42%. Ces résultats appuient notre hypothèse selon laquelle les valeurs de référence de notre population, notamment de la cité de Tshela sont différentes de celles données par la littérature en cours dans l'ex-cité de Tshela.

Notre étude corrobore avec celle menée par l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé dans la lecture critique de l'hémogramme: valeurs seuils à reconnaître comme probablement pathologiques et principales variations non pathologiques où elle stipule que certains facteurs sont à la base de la différence observée dans les valeurs de référence au sein de la population, notamment: la race, le sexe, et l'âge (ANAES 1997).

En outre, l'espèce, le sexe et l'âge sont les éléments favorisant la différence de valeur de référence des populations comme démontré dans : « <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hématocrite&oldid=174269003> ».

5 CONCLUSION

Le but de cette étude était de produire les valeurs de référence de deux paramètres hématologiques clés de diagnostic d'anémies, il s'agit de l'hémoglobine et de l'hématocrite à partir d'une population de référence « locale », les enfants de deux sexes, âgés de 1 à 60 mois des écoles maternelles Bana SCAM, Abbé Serge, Maman Angel et église liloba na Nzambe à Tshela. Partant de l'hypothèse selon laquelle les valeurs de référence fournies par la littérature encore en cours d'utilisation dans nos laboratoires médicaux seraient différentes de celles de notre population, nous avons prélevé les échantillons de sang et les avons analysé; des méthodes statistiques ont été utilisées aussi à cette fin.

Au vu de nos résultats, nous pouvons affirmer que notre hypothèse a été vérifiée et confirmée.

Donc, les résultats obtenus durant cette étude nous incite à formuler les recommandations ci-après:

- Aux responsables des laboratoires médicaux les recommandations internationales selon lesquelles chaque laboratoire doit produire ses propres valeurs de référence de différents paramètres biologiques, avec des méthodes d'analyses qu'ils utilisent sur base d'une population de référence « locale »;
- Aux chercheurs, de poursuivre cette étude afin de produire des valeurs de référence propres pour les autres paramètres de Biologie médicale.

REFERENCES

- [1] A.B. Mehta et A.V. Hoffbrand; Hématologie, Sciences Médicales série Claude Bernard, Ed. De Boeck université, Paris. Bruxelles, 2003.
- [2] Bessis M.: Cellules du sang normal et pathologique, Masson et cie, Paris – France, 1972.
- [3] Bio Mérieux: Coagulation, Hématologie, Bio Mérieux, Marcy l'Etoile 69260 Charbonnière – les Bains, France, 1980.
- [4] Dreyfus B; Anémies: Généralités, In B. Dreyfus, Hématologie, Flammarion, Médecine Sciences, 75006, Paris – France, 1984.
- [5] Dreyfus B; Le globule rouge: morphologie, indices érythrocytaires, données biologiques utilisées au diagnostic des maladies érythrocytaires. In B. Dreyfus, Hématologie, Flammarion, Médecine – Sciences Paris – France 1984.
- [6] Genetet B. et Mannomi P.: Transfusion sanguine, In B. Dreyfus, Hématologie, Flammarion, Médecine – Sciences Paris – France 1984.
- [7] Kamoun P. et Fréjaville J.P.: Guide des examens de laboratoire, Ed. Flammarion, Médecine – sciences, 3ème Edition, France 1993.
- [8] Linhard J. et Diablot G.: Aspects hématologiques de la Sickle cell disease. In Médecine Tropicale, Vol.38, N°2 Mars – Avril, Bruxelles, 1978.
- [9] Nestlé, Comité International de Pédiatrie: Hémoglobinopathies, Service de Nutrition, Vevey Suisse 1998.
- [10] OMS: Manuel de Techniques de base pour le laboratoire médical, Genève 1982.
- [11] Riedler Georges F.: Tabulae hematologicae, Ed. Roche, Bale Suisse 1982.
- [12] Rotsard de Hertaing et Courtejoie J.: Laboratoire et santé, BERPS, KANGU Mayombe, RDC 1992.
- [13] Theml H.: Atlas d'hématologie pratique, Masson Paris France, 1985.
- [14] Mwema M. G, Kitenge M.J., Gabanga N.L, Mulongo M.M – R et Momo I.A.: Procédures opératoires standardisées, Unité d'hématologie, Laboratoire de Biologie Clinique, INRB, Kinshasa, RDC 2004.
- [15] www.hemocue.com.
- [16] Microsoft 2007: Logiciel Excel.
- [17] <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hématocrite&oldid=111111111>.
- [18] ANAES 1997 Lecture critique de l'Hémogramme: valeurs seuils à reconnaître comme probablement pathologiques et principales variations non pathologique. Service de Références Médicales /septembre 1997, Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation de Santé.

Risques professionnels, invalidité et cout de réparation des accidents du travail déclarés à la caisse nationale de sécurité sociale dans la province du Haut-Katanga, République Démocratique du Congo de 2010 à 2016

[Occupational risks, invalidity and cost of compensation for work accidents declared to the national social security fund in the province of Haut-Katanga, Democratic Republic of Congo from 2010 to 2016]

Kalumba Ilunga Cléophas¹, Barthelemy Wognin², Mathias Kouassi², Elisabeth Yehouenou³, and Kabyla Ilunga Benjamin⁴

¹Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

²Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université Houphouet-Boigny, Côte d'Ivoire

³Département d'Environnement, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Benin

⁴Santé Publique, Faculté de Médecine, Université de 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: Work accidents are, whatever the cause, accidents occurring through or in the course of work to any employee or working, in any capacity or in any place whatsoever, for one or more employers or business leaders (Democratic Republic of Congo, 2016). In some very specific cases, it can be virtual.

General objective: to identify the prevalence of occupational risks declared to the CNSS from January 1st, 2010 to January 31, 2016.

Specific objective: to determine the invalidity rates of occupational risks as well as their repair costs.

Cross-sectional study for analytical purposes based on documentary research of the archives of the National Social Security Fund (Model A1, A2, A3, A4, the registers of the occupational risk service and the accounting books) from January 1, 2010 to December 31 2016.

510 files registered and processed. Among which 70% of the subjects had progressed towards recovery without sequelae.

The cash compensation was made 98% of the time. The other 2% are prosthetic amputations.

The annuity had ranged between \$ 2 and \$ 145,493 with an average of \$ 2526.9882.

The management of occupational risks in terms of 510 accident victims is presented as follows: 2.17% of the expenditure report on provincial production and 23.27% as an expenditure report on the financing of occupational risks in the province of Haut-Katanga.

The data of this study show the impact of occupational risks focused on bodily and socio-economic injuries at different levels.

KEYWORDS: Work accidents, invalidity, cost of repairs, Haut Katanga, DRC.

RESUME: Les accidents du travail sont quels qu'en soit la cause, des accidents survenus par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant, à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise (République Démocratique du Congo, 2016). Dans certains cas très particuliers, il peut être virtuel.

Objectif général: dégager la prévalence des risques professionnels déclarés à la CNSS du 1^{er} Janvier 2010 au 31 janvier 2016.

Objectif spécifique: déterminer les taux d'invalidité des risques professionnels ainsi que leurs couts de réparation. Etude transversale à visée analytique basée sur la fouille documentaire des archives de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale

(Modèle A1, A2, A3, A4, les registres du service des risques professionnels et les cahiers de comptabilité) du 1er Janvier 2010 au 31 Décembre 2016.

510 dossiers enregistrés et traités. Parmi lesquels 70% des sujets avaient évolué vers la guérison sans séquelles.

La réparation en espèce s'est faite dans 98% des cas. Pour les 2 autres %, il s'agit des prothèses des amputations.

La rente avait varié entre 2 USD et 145493 USD avec une moyenne de 2526,9882 USD.

La prise en charge des risques professionnels en termes de 510 accidentés se présentent de la manière que voici: 2,17% du rapport de dépenses sur la production provinciale et 23,27 % comme rapport de dépenses sur le financement des risques professionnels dans la province du Haut-Katanga.

Les données de cette étude ressortent l'impact des risques professionnels axés sur les préjudices corporels et socio-économiques à des différents niveaux.

MOTS-CLEFS: Accidents de travail, invalidité, cout de réparation, Haut Katanga, RDC.

1 INTRODUCTION

Selon le code de la sécurité sociale, l'article L.411, les accidents du travail sont quels qu'en soit la cause, des accidents survenus par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant, à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise (République Démocratique du Congo, 2016).

Il s'agit d'une action violente et soudaine d'une cause extérieure qui, à l'occasion du travail, est à l'origine d'une lésion corporelle (dommage corporel) ou mentale. Dans certains cas très particuliers, il peut être virtuel: par exemple la projection sur une muqueuse saine (œil) ou sur une peau préalablement lésée de liquides biologiques potentiellement contaminants (virus de l'hépatite B ou C, VIH) (Bénéteau L et al, 2013).

1.1 LES RISQUES PROFESSIONNELS

C'est l'ensemble de toutes les conséquences (fonctionnelles, douloureuses, esthétiques, financières, esthétiques etc.), d'atteintes portées volontairement ou non à l'intégrité physique des personnes (Ministère du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale de la République Démocratique du Congo, 2016).

1.2 REPARATION DU DOMMAGE CORPOREL

C'est le fait de payer en espèce ou en nature un accident de travail qui a connu un préjudice (Physique ou moral) (Roland M. et al, 1975).

Cette indemnisation peut être en nature (octroi des prothèses, Frais médicaux, frais chirurgicaux, frais de pharmacie, frais d'hospitalisation, fourniture et réparation des prothèses, frais de rééducation professionnelles et de reclassement de la victime et frais funéraires) ou en espèce (paiement indemnités journalières, rente ou allocation unique) après fixation du taux d'invalidité par le médecin du travail de la caisse (Ordonnance n°67/480 du 30 novembre 1967 relative au barème officiel indicatif des invalidités, à l'usage de la sécurité sociale en République Démocratique du Congo (République Démocratique du Congo, 2016).

1.3 INVALIDITE

L'invalidité n'est pas une mesure strictement médicale d'une lésion anatomique circonscrite comme en matière d'accidents du travail et des maladies professionnelles. Elle peut également être considérée comme une évaluation des conséquences de l'altération de l'état de santé global d'une personne sur sa capacité de tenir un emploi. Elle fait appel au médecin-traitant, au médecin du travail et au médecin conseil de la couverture sociale (Aballea P, 2012).

1.4 COUTS DES ACCIDENTS DE TRAVAIL

1.4.1 COUT GLOBAL

On entend par coût global des accidents, l'évaluation chiffrée de l'ensemble d'éléments chiffrés susceptibles d'être cernés qui entrent en ligne de compte de dépenses engagées pour un accident de travail. Certains auteurs distinguent les coûts directs et les coûts indirects, ou encore le coût « subjectif » (préjudice subi par la victime et sa famille considéré relativement à la

valeur intangible de la vie humaine et de la santé) et le coût pour l'économie (frais médicaux, perte de production, dégâts matériels, frais administratifs, etc.) (Boisselier J et al, 1984). Il existe plusieurs typologies des coûts des accidents du travail: les coûts directs, les coûts indirects et coûts économiques et sociaux (Dupeyroux JJ et al, 1984).

1.4.2 COUTS DIRECTS

Les coûts directs représentent généralement les frais qui sont enregistrés dans le système comptable de l'entreprise, c'est-à-dire les sommes qui doivent être engagées à la suite d'accidents. Les coûts directs sont constitués en général des éléments suivants:

- Indemnités journalières,
- Allocation d'incapacité,
- Rentes aux assurés,
- Rentes aux survivants,
- Rachats de rentes,
- Frais d'analyses, d'expertises et de soins médicaux,
- Produits pharmaceutiques,
- Fournitures de laboratoire et de radiologie,
- Frais de rééducation et de reclassement,
- Prothèses et fournitures de fabrication,
- Frais de transport,
- Frais funéraires (Chabonnier J, 1980).

1.4.3 COUTS INDIRECTS

Ils décrivent les pertes subies par l'entreprise à la suite d'un accident de travail, mais qui ne sont pas nécessairement comptabilisées comme telles (BIT, 1984; Pharm D. 1988).

J. Charbonnier (BIT, 1993) précise qu'ils représentent pour l'entreprise « les dépenses ou manques à gagner incombant à celle-ci du fait de la survenance d'accidents et non indemnisés par l'assurance » que les ambiguïtés sont les plus nombreuses et plus difficiles à éliminer. Ces coûts sont par essence cachés et il n'existe pas de principe strict de leur ventilation.

Ces pertes ou manques à gagner comprennent:

- Coût du temps perdu par les autres salariés qui ont interrompu leur travail;
- Coût du temps perdu par les agents de maîtrise, les chefs de service et autres cadres:
 - Pour venir en aide à la victime;
 - Pour rechercher les causes de l'accident;
 - Pour faire reprendre le travail de la victime par un autre salarié;
 - Pour trouver un autre salarié qui puisse remplacer la victime, le former ou le mettre au travail;
 - Pour établir le rapport d'accident ou répondre aux convocations des agents de l'autorité publique.
- Coût du temps des secouristes et du personnel des services hospitaliers;
- Dommages subis par les machines, l'outillage ou d'autres biens; perte de matières ou de fournitures;
- Coûts qu'entraînent la désorganisation de la production, les retards de livraison, la perte des bonus d'assurance, le paiement des dommages et intérêts etc;
- Coût supporté par l'employeur au titre des régimes de prestations;
- Coût de la baisse de productivité de la victime à son retour au travail;
- Manque à gagner sur la productivité de la victime et de l'équipement;
- Coût dû à l'agitation causée par l'accident ou à l'abatement qui peut lui succéder;
- Coût afférent aux frais généraux qu'elle occupait au moment où s'est produit l'accident du travail (Boisselier et al, 1984).

Bon nombre d'auteurs ont évalué ces coûts (directs et indirects) sans toutefois utiliser une définition commune des termes coûts directs et coûts indirects. Heinrich (1931) a été l'un des premiers à mettre en évidence la présence de coûts cachés non comptabilisés par l'employeur. Il a identifié les événements entourant un accident et ayant des répercussions économiques permettant ainsi d'identifier et de comparer les coûts directs et indirects.

Heinrich parvient à la conclusion que les coûts indirectement générés par les accidents de travail sont quatre fois plus élevés que les coûts directs (Kouadio MK, 2005). Mais, c'est en matière de coûts indirects dont J. Chabonnier précise qu'ils représentent pour l'entreprise, les dépenses ou manques à gagner incombant à celle-ci du fait de la survenue d'accidents et non indemnisés par l'assurance que les ambiguïtés sont les plus nombreuses et plus difficiles à éliminer. Ces coûts sont par essence cachés et il n'existe pas de principe strict de leur ventilation (Petiet G, 1988).

1.5 OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.5.1 OBJECTIF GENERAL

Dégager au sein des entreprises formelles du Haut-Katanga la prévalence des risques professionnels déclarés à la CNSS du 1^{er} Janvier 2010- au 31 janvier 2016.

1.5.2 OBJECTIFS SPECIFIQUES

Déterminer les taux d'invalidité des risques professionnels ainsi que leurs couts de réparation.

1.6 PROBLEMATIQUE

Tout en ayant à l'esprit pour chaque catégorie des travailleurs des contraintes, il peut y avoir une conjonction des causes endogènes et exogènes qui peuvent se présenter en facteurs favorisant la survenue des risques professionnels entre autres:

- Le manque de formation, d'informations et le non-respect des normes de santé au travail et sécurité au travail;
- L'ancienneté à un poste de travail etc...

Par manque des données dans notre environnement en rapport avec les taux d'invalidité et des réparations des risques professionnels, nous nous sommes posé la question suivante:

Quels seraient les déterminants des taux d'invalidité et du cout de la réparation des risques professionnels à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale?

2 MATERIEL, METHODE ET TECHNIQUE

2.1 NATURE ET POPULATION D'ETUDE

Il s'agit d'une étude transversale à visée analytique basée sur la fouille documentaire des archives de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (Modèle A1, A2, A3, A4, les registres) portant sur la période du 1^{er} Janvier 2010 au 31 Décembre 2016.

2.2 POPULATION CIBLE

La population d'étude est constituée de tous les dossiers des accidentés traités et cloturés durant la période notre étude.

2.3 ECHANTILLONAGE

Il s'agit d'un échantillonnage exhaustif prélevant en compte tous les cas d'accidents de travail déclarés et traités dans ces deux directions.

2.4 TAILLE DE L'ECHANTILLON

Au total 510 dossiers d'accidents du travail déclarés et traités dans les deux directions provinciales de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (Lubumbashi avec son antenne de Kipushi, la Direction de Kasumbalesa ainsi qu'à la Direction Provinciale de Likasi) dans la province du Haut - Katanga.

2.5 COLLECTE DES DONNEES

Une fiche de collecte des données a été élaborée pour la circonstance et a servi à la collecte des données statistiques sur base des dossiers d'enregistrement des déclarations des accidents du travail.

2.6 TECHNIQUE

Nous avons fait recours aux documents du service de risques professionnels fiches modèles (AT): A1, A2; A3 A4), les registres des déclarations des accidents du travail au niveau du service des risques professionnels de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale pour la période du 1^{er} Janvier 2010 au 31 décembre 2016.

3 CADRE DE L'ETUDE

3.1 DELIMITATION SPATIALE

Cette étude a été menée auprès de deux directions provinciales de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (Lubumbashi avec son antenne de Kipushi, la Direction de Kasumbalesa ainsi qu'à la Direction Provinciale de Likasi) dans la province du Haut - Katanga dont la superficie est de 132 425 km² avec une population estimée à 3 960 945 hab. (2006). La densité¹ est de 30 hab/km².

3.2 CRITERES D'INCLUSION

- Etre travailleur affilié à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale dans la Province du Haut-Katanga;
- Avoir été victime d'un accident de travail durant la période d'étude.
- Travailler à un poste où il y a eu l'accident de travail au sein de l'entreprise durant la période de l'étude;
- Avoir un dossier déclaré, traité, clôturé et payé.

3.3 CRITERE DE NON INCLUSION

N'ont pas été inclus de cette étude, tous les dossiers déclarés et non clôturés par la CNSS.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 ANALYSES UNIVARIEES

✓ Effectif

La Caisse Nationale de Sécurité Sociale de la province du Haut-Katanga a enregistré 2013 dossiers des risques professionnels parmi lesquelles 510 dossiers ont été traités et clôturés.

✓ Données socio-démographiques

Tableau 1. Fréquence d'accidents de travail par année

ANNEE	Fréquence	Pourcentage (%)
2010	117	22,94
2011	103	20,20
2012	159	31,18
2013	50	9,80
2014	15	2,94
2015	9	1,76
2016	57	11,18
Total	510	100%

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Haut-Katanga>

L'année 2012 est l'année où on a dénombré le plus grand nombre d'accidentés avec une fréquence de 31,18%.

- Tranche d'âge

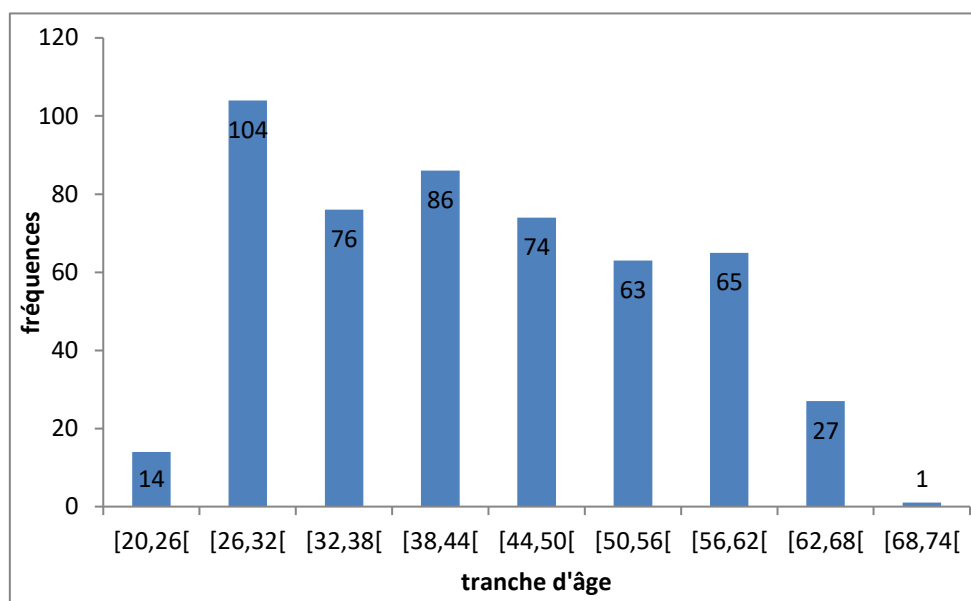


Fig. 1. Histogramme de la distribution de fréquence des accidentés de travail par tranche d'âge

Tranche d'âge la plus accidentée est celle comprise entre 26 et 32 ans avec 104 sujets, soit 20,55%.

- Sexe

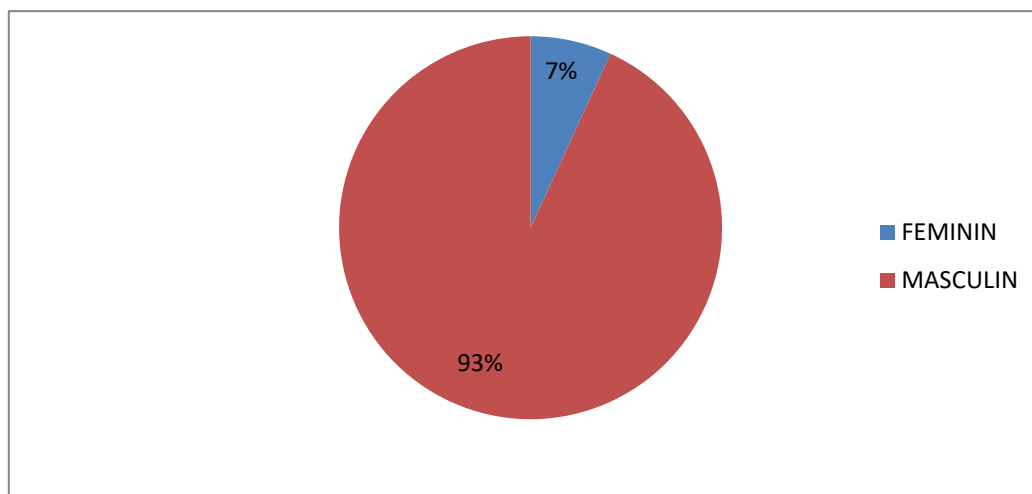


Fig. 2. Répartition des accidentés de travail en fonction du Sexe

Le sexe masculin est prépondérant avec une proportion de 475 sujets sur 510. Soit 93,14% des cas.

- Etat matrimonial

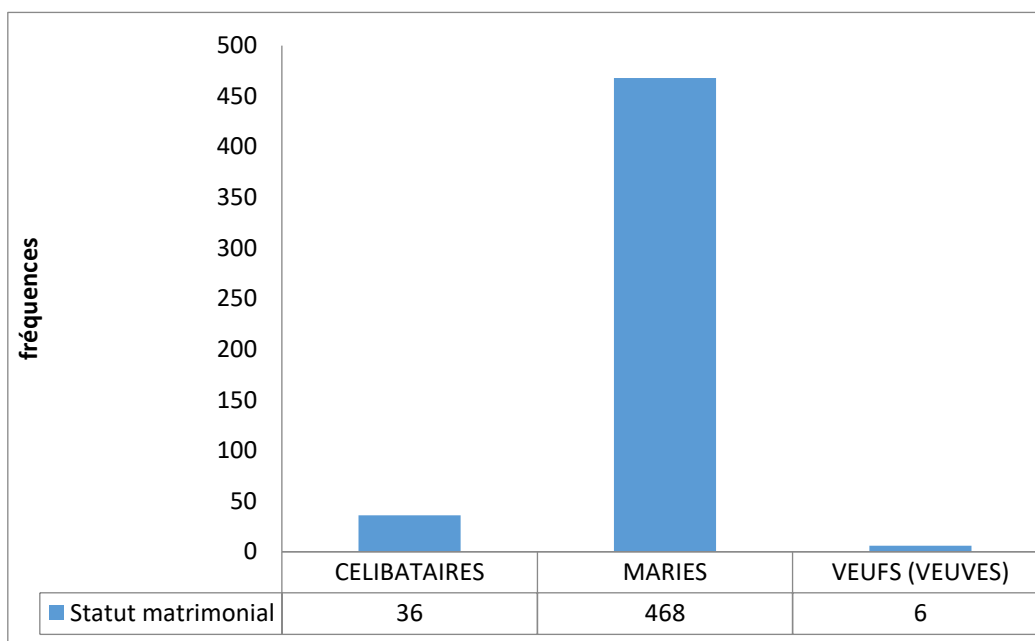


Fig. 3. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le statut matrimonial

La majorité des sujets, soit 91,76% sont mariés.

- ✓ Données professionnelles

- Données des accidents du travail en rapport avec les entreprises

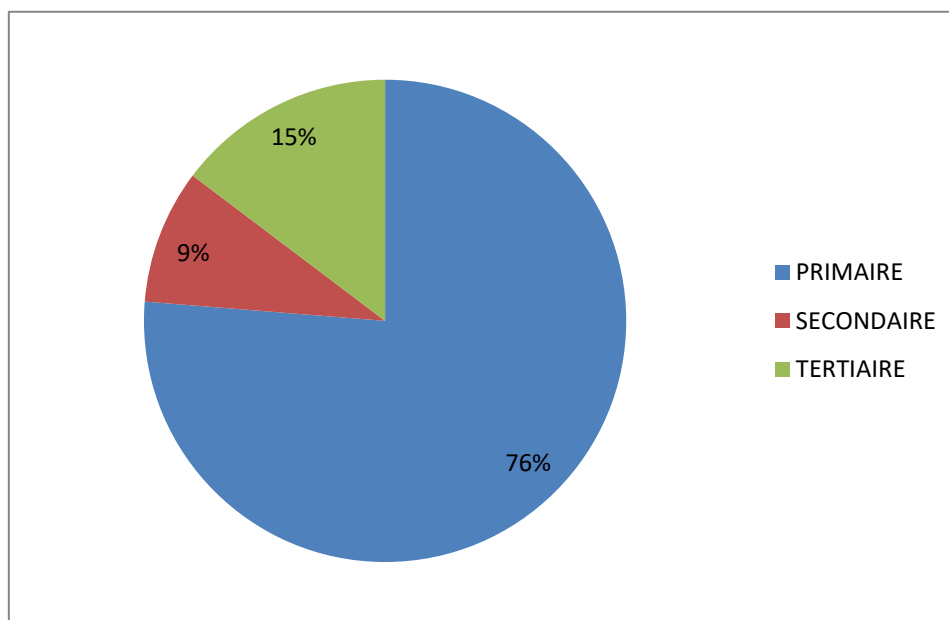


Fig. 4. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le secteur d'activité

Les entreprises minières sont les entreprises les plus accidentées avec 76%.

- Formation spécialisée des agents

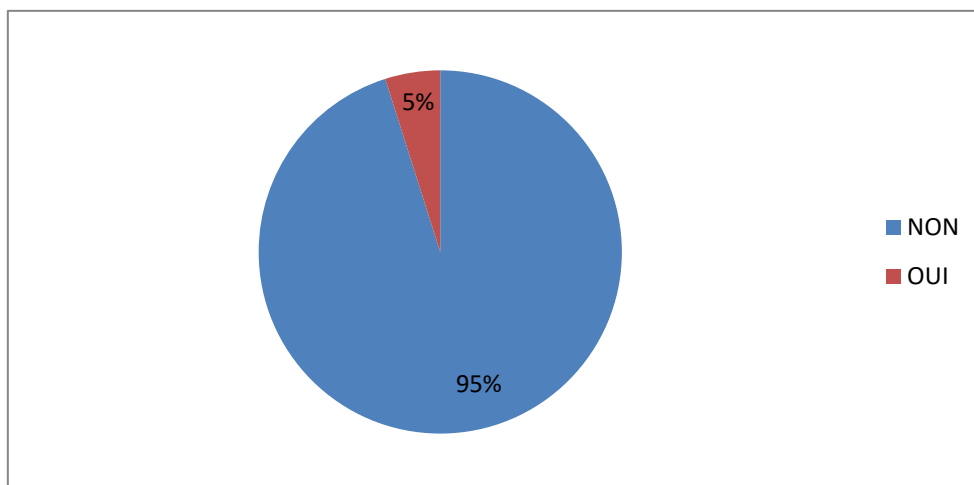


Fig. 5. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon la formation spécialisée

95,10% des sujets n'ont aucune formation spécialisée.

- Ancienneté des sujets

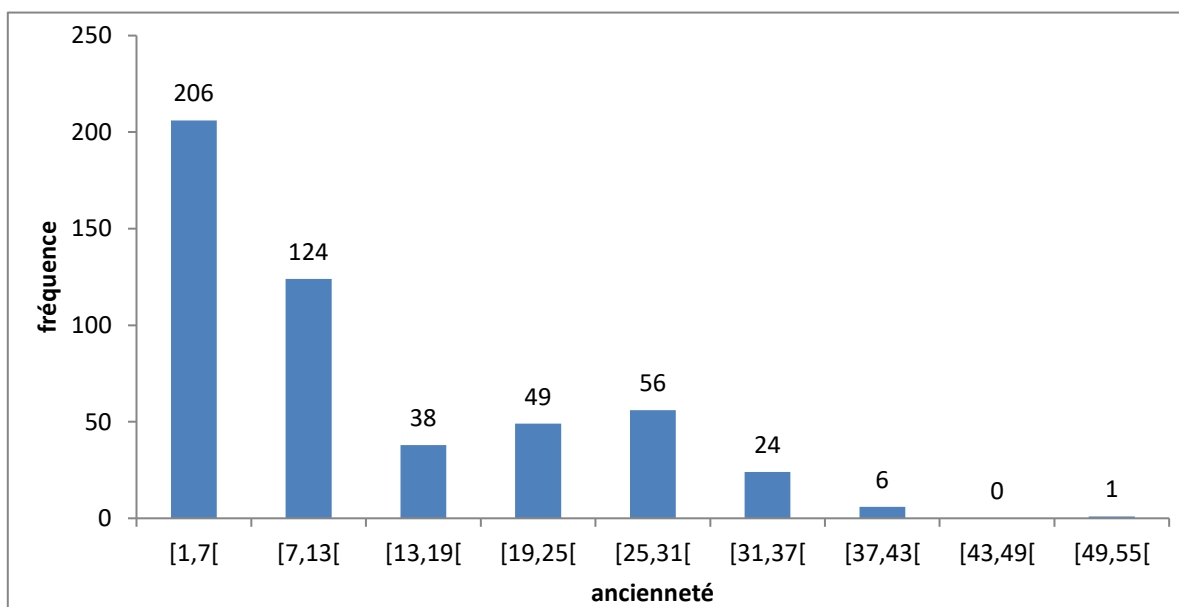


Fig. 6. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon l'ancienneté des sujets

Les accidents de travail sont l'apanage des travailleurs moins expérimentés, soit 40,71% de nos sujets ont moins de 7 ans d'ancienneté.

VARIABLES DEPENDANTES

- ✓ Données médicales
 - Type d'accident

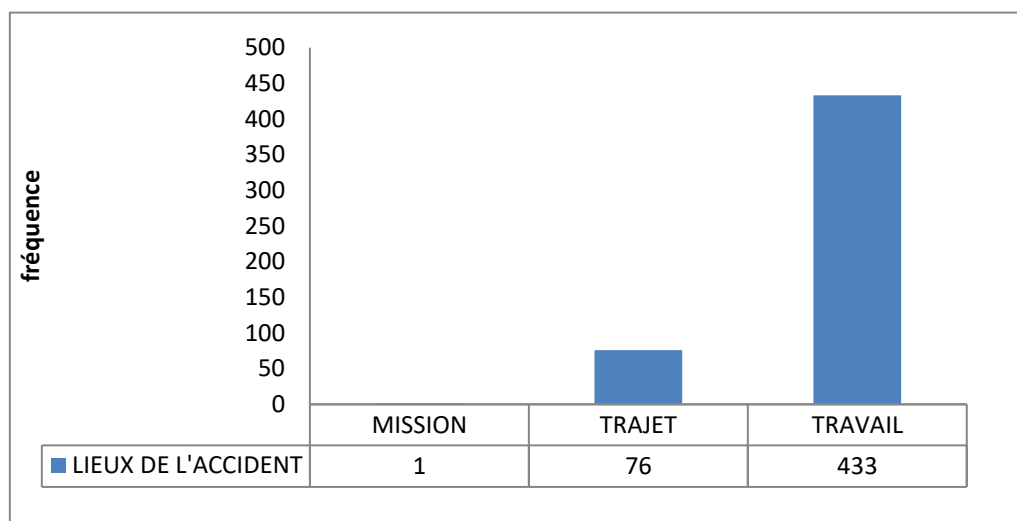


Fig. 7. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le type d'accident

84,90% d'accidents sont des accidents du travail proprement-dits.

- Conséquence de l'accident

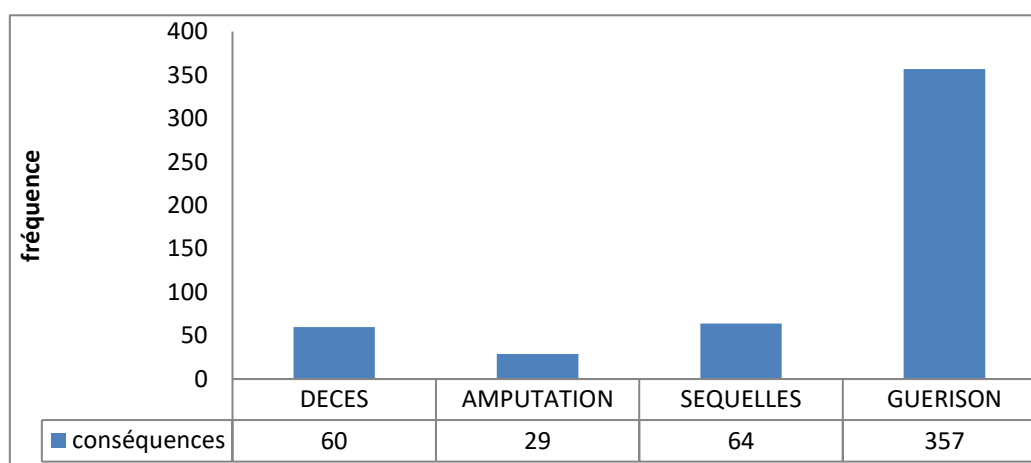


Fig. 8. Répartition de fréquence des accidentés de travail selon la conséquence

70% des sujets ont évolué vers la guérison sans séquelles.

VARIABLES INDEPENDANTES

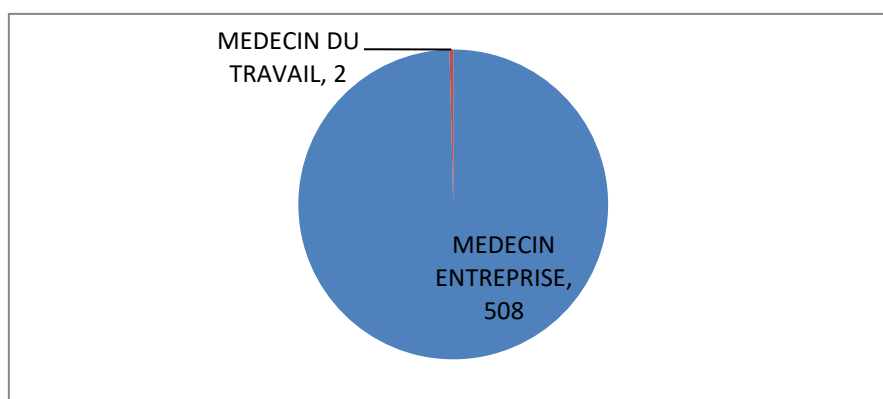


Fig. 9. Répartition des accidents de travail selon l'expertise médico-légale

Nous notons 2 dossiers qui sont traités et clôturés par le médecin du travail sur 510 soit 0,39 %.

Tableau 2. Durée de l'ITT

Nbre des Jours	Fréquence	%
10	140	27,45%
15	68	13,33%
16	70	13,73%
20	71	13,92%
30	68	13,33%
40	4	0,78%
45	22	4,31%
60	35	6,86%
90	32	6,27%
Total	510	100%

L'ITT varie de 10 jours à 90 jours. La durée moyenne du congé est de 25,75.

- Taux d'invalidité

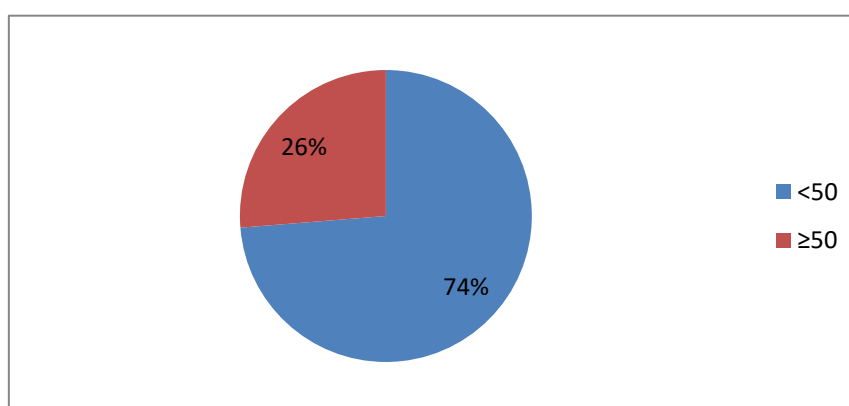


Fig. 10. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le taux d'invalidité permanente partielle

74% des sujets présentent un taux d'invalidité <50%.

○ Réparation

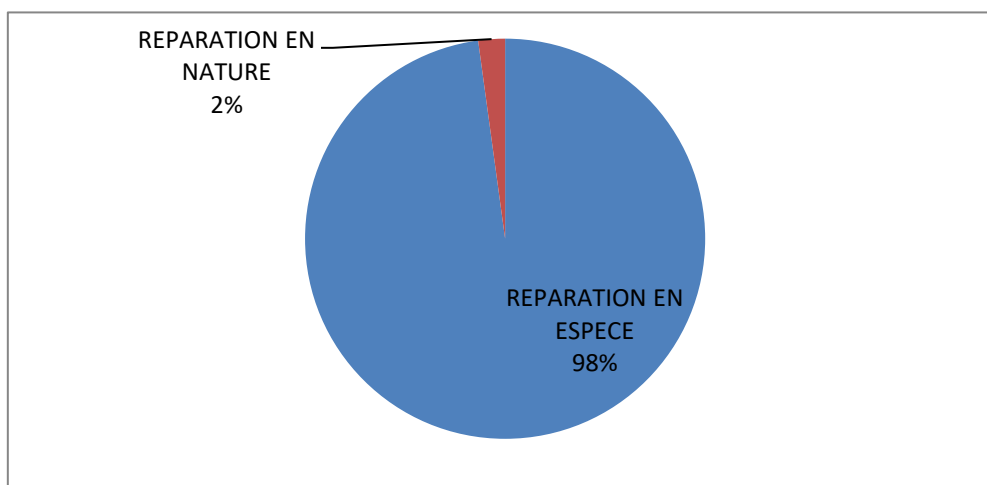


Fig. 11. Répartition de fréquence des accidents de travail selon le mode de réparation

La réparation en espèce s'est faite dans 98% des cas. Pour les 2 autres %, il s'agit des prothèses et ce pour des cas d'amputations post-traumatiques.

4.2 ANALYSES BIVARIEES

Tableau 3. Conséquences des accidents du travail

SIEGE	EVOLUTION		Total
	DECES	GUERISON	
TETE	27 (5,29%)	50 (9,80%)	77 (15,10%)
AUTRES	33 (6,47%)	400 (78,43%)	433 (84,90%)
TOTAL	60 (11,76%)	450 (88,24%)	510 (100,00%)

Chi-square: 47,4; p: 0, 0001; OR: 6, 5 (IC95% [3, 6 – 11, 8])

Les agents ayant subi un traumatisme au niveau de la tête avaient 6,5 fois plus de risque de décéder par rapport à ceux avec des blessures situées au niveau d'autres sièges.

Tableau 4. Taux d'invalidité en fonction de l'atteinte du squelette appendiculaire (membres) des accidentés de travail

SIEGE	TAUX D'INVALIDITE		Total
	< 50%	≥ 50%	
MEMBRES	274 (53,72%)	79 (15,49%)	157 (30,78%)
AUTRES	102 (20%)	55 (78,43%)	353 (69,22%)
TOTAL	376 (73,73%)	134 (26,27%)	510 (100,00%)

Chi-square: 8,98; p: 0,0027; OR: 0,53 (IC95% [0,35 – 0,80])

Les agents atteints aux membres ont 5,3 fois moins de risque d'avoir un taux d'invalidité ≥ 50%.

Tableau 5. Taux d'invalidité en fonction du squelette axial (rachis et thorax) des accidentés de travail

	TAUX D'INVALIDITE		
SIEGE	< 50%	≥ 50%	Total
SQUELETTE AXIALE	108 (21,18%)	54 (10,59%)	162 (31,83%)
AUTRES	267 (52,35%)	80 (15,69%)	353 (69,22%)
TOTAL	376 (73,73%)	134 (26,27%)	510 (100,00%)

Chi-square: 6,02; p: 0,014; OR: 1,67 (IC95% [1,11 – 2,52])

Les agents avec atteintes du squelette axial ont 1,67 fois le risque d'avoir un taux de d'invalidité ≥ 50% par rapport aux autres.

Tableau 6. Paiement de la rente et des frais médicaux des accidentés de travail

	Min.	Max.	Moyenne (± écart-type)
RENTE	2,0000	145493,0000	2526,9882 (±11715,1423)

La rente a varié entre 2 USD et 145493 USD avec une moyenne de 2526,9882 USD.

Tableau 7. Conséquences dominantes des accidents du travail

	L'EVOLUTION		
SECTEUR	GUERISON	DECES	Total
PRIMAIRE	283 (55,49%)	106 (20,78%)	389 (76,27%)
AUTRES	74 (14,51%)	124 (24,31%)	121 (23,73%)
TOTAL	357 (70%)	153 (30%)	510 (100,00%)

Chi-square: 5,90; p: 0,0150; OR: 1,69 (IC95% [1,10 – 2,60])

Les agents du secteur primaire ont 1,7 fois moins de risque de décès ou d'avoir des séquelles que ceux du secteur 2° ou 3°.

Tableau 8. Taux d'invalidité des accidentés de travail en fonction du sexe

	TAUX INVALIDITE		
SEXE	<50	≥50	Total
FEMININ	25 (4,94%)	10 (1,98%)	35 (6,86%)
MASCULIN	351 (68,82%)	124 (24,31%)	475 (93,14%)
TOTAL	376 (73,73%)	134 (26,27%)	510 (100,00%)

Chi-square: 0,1023; p: 0,7490; OR: 0,88 (IC95% [0,41-1,89])

Par rapport au taux d'invalidité, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux sexes.

Tableau 9. Nature des traumatismes des accidentés de travail en fonction du sexe

	NATURE DU TRAUMATISME		
SEXE	MAL. PROF. POUM.	TRAUMAT.	Total
F	0 (0,00%)	35 (6,92%)	35 (6,92%)
M	6 (1,19%)	464 (90,98%)	475 (93,14%)
TOTAL	6 (1,19%)	499 (97,84%)	510 (100,00%)

Chi-square: 0, 4422; p: 0,501; OR: 0, 00 (IC95% Indéfini)

Les lésions les plus observées sont des lésions traumatiques (plaies, contusions, fractures, amputations, ...) et ce, dans tous les cas, les hommes sont les plus touchés. Mais cette différence n'est pas significative.

Tableau 10. Taux invalidité en fonction de la réparation des accidents de travail

REPARATION	TAUX INVALIDITE		Total
	<50	≥50	
ESPECE	373 (72,33%)	126 (25,49%)	499 (97,83%)
Prothèse	7 (1,38%)	4 (0,79%)	11 (2,17%)
TOTAL	380 (74,51%)	130 (25,49%)	510 (100,00%)

Chi-square: 0,6999; p: 0,4028; OR: 0,59 (IC95% [0,17-2,05])

98% des accidentés ont reçus de l'argent en guise de réparation.

Tableau 11. Evolution des lésions en fonction de l'ancienneté des accidentés de travail

ANCIENNETE	ISSUE		Total
	GUERISON	DECES	
6 à 40 ans	69 (13,53%)	110 (21,57%)	179 (35,10%)
0 à 5 ans	84 (16,47%)	246 (48,24%)	330 (64,71%)
TOTAL	153 (30%)	356 (70%)	510 (100,00%)

Chi-square: 9,46; p: 0,0020; OR: 1,83 (IC95% [1,2 – 2,7])

Les accidentés ayant une ancienneté supérieure à 5 ans ont 1,83 fois plus de risque de décéder ou d'avoir des séquelles comparées à ceux ayant une ancienneté de 0 à 5 ans.

4.3 ANALYSE MULTIVARIE

Tableau 12. Facteurs associés à la guérison des accidentés de travail

GUERISON	OR	IC 95%	Z	P-Value
SECTEUR D'ACTIVITE I°	0.6359	0.4098 - 0.9868	-2.02	0.043
ANCIENNETE < 7 ANS	1.8907	1.2669 - 2.8216	3.12	0.002
SIEGE DE LA LESION/TETE	2.5118	1.5133 - 4.1693	3.56	0.000
CONSOLIDEE	0.4045	0.2625 - 0.6233	-4.10	0.000

Cette analyse nous a permis d'estimer l'association entre différents facteurs et la guérison des accidentés du travail.

Les variables significativement associées à la guérison dans la population des accidentés étaient:

- Secteur d'activité I°, avec un OR=0.6359 (IC95% [0.4098-0.9868], p<0,05),
- L'ancienneté < 7 ans, avec un OR=1.8907 (IC95% [1.2669-2.8216], p<0,05)
- Siège de la lésion/tête, avec un OR=2.5118 (IC95% [1.5133-4.1693], p<0,05)

5 EVALUATION DES COUTS DIRECTS DES ACCIDENTS DE TRAVAIL SUR LA PRODUCTION

Tableau 13. *Production et prise en charge des accidentés de travail*

Exercice	Taux USD	Dépenses (D)		Production Provinciale (PP)		Rapport D/PP	Cote part risques professionnels (RP) dans PP (12,5%)		Rapport de financement provincial des RP
		CDF	USD	CDF	USD		CDF	USD	
2010	900,7678	386823381,021	429437	1551630277782,33	1722564103	0,25	1551243454401,31	1722134666	1,24
2011	919,9069	189209187,072892	205682	2119637679886,17	2304187173	0,09	2119448470699,1	2303981490	1,70
2012	921,5432	140488920,23	152449	347206541083,75	376766429	0,04	347066052163,52	376613979	2,78
2013	918,6991	393414253,32	428229	4025978877126	4382260608	0,98	4025585462872,68	4381832378	3,22
2014	925,9536	13115215,48	14164	4559648971474	4924273712	0,03	4559635856258,52	4924259548	3,65
2015	924,8281	6955103,48	7520	3814120043069	4124139440	0,02	3814113087965,52	4124131920	3,05
2016	958,784	72795543,03	75924	953995096632	995005232	0,76	953922301088,97	994929307	7,63
Total		1202801603,63389	1313405	17372217487053,2	18829196697	2,17	17371014685449,6	18827883288	23,27

La prise en charge des risques professionnels dans la province du Haut-Katanga sur l'ensemble de 7 ans de notre étude en termes de dépenses de 510 accidentés dont les dossiers ont été traités et clôturés se présentent de la manière que voici: 2,17% du rapport de dépenses sur la production provinciale et 23,27 % comme rapport de dépenses sur le financement des risques professionnels dans la province du Haut-Katanga.

6 DISCUSSION

Durant cette période d'étude, l'année 2012 présente une montée sensible des accidents du travail avec un pourcentage de 31,18%. Par contre en Europe, on observe une diminution des accidents du travail allant de (0,61% à 0,42 %) de 2002 à 2011. Cette tendance pourrait s'expliquer par les efforts de prévention réalisés dans le domaine de santé et sécurité au travail. La même tendance est constatée dans les 27 pays de l'Union Européenne où on a enregistré une baisse de 20% (Caisse Nationale de l'Assurance Maladie et des travailleurs Salariés, France; 2013). En Tunisie, on enregistre une baisse de 10 % (de 43,2 % en 1995 à 33,3% en 2005) (Ben Laiba; 2007). Cela pourrait s'expliquer par la faiblesse de la prévention.

Quant à la nature des lésions, les plaies représentent une proportion importante (37,08%). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus en France où les plaies sont les principaux types de lésions mais à un taux moins élevé (23,6 %) (BIT; 1999).

Parmi les traumatismes divers enregistrés (20,12%), ceux du thorax sont à la base des décès. Les atteintes des membres (membre inférieur gauche 22,09%, membre inférieur droit 19,53%, membre supérieur droit avec 16,77%, le membre supérieur gauche avec 11,64%), la tête avec 18,15% et le tronc avec 11,24% se justifient par le manque de port d'équipements de protection individuelle (EPI). Ces résultats corroborent avec ceux de Fayomi et collaborateurs en 1993 où les lésions siègent préférentiellement au niveau des membres supérieurs et inférieurs dans les proportions (22.5% et 11.8%) qui s'expliquent par manque du port des équipements de protection individuelle (EPI) tels que les gants et les bottes.

La fréquence des accidents ayant entraîné des conséquences ne suit aucune logique et ne peut donc pas être comparée à la fréquence des accidents de travail en général. Dans cette étude, nous avons constaté que les amputations représentent 5,72%, les décès 11,24%, les séquelles 12,62%.

La CNSS de la province du Haut-Katanga a réalisé une recette de 17372217487053,2 Francs congolais et a dépensé 95055425,70 Francs Congolais pour la réparation des accidents de travail (indemnisation en espèce ou en nature) soit un taux de 23,27% de sa recette. Une étude similaire menée au Burkina Faso sur une période de 10 ans à la Caisse de Sécurité Sociale a relevé un taux de 20% (Prestations en nature, prestation en espèce) (MTSS, 2008).

Dans cette étude, 6,31% des victimes d'accidents de travail ont bénéficié de 90 jours d'arrêt de travail entraînant un coût pour l'entreprise et pour la Caisse Nationale de Sécurité Sociale. Pour l'entreprise, c'est un manque à gagner dans la production et la formation d'un remplaçant. Pour la Caisse, elle entraîne un coût en terme d'indemnisation journalière que celle-ci est censée payer à l'entreprise. En tenant compte du taux d'invalidité, 67,7% des victimes d'accidents de travail ont un taux d'invalidité compris entre 0,5 et 14,5% ce qui donne droit à une allocation unique. Le taux d'invalidité fixé n'a pas d'impact socio-économique pour l'accidenté en termes de coup de vie. Une rente au taux ajusté comme en Côte d'Ivoire contribuerait à la résolution de certains problèmes socio-économiques.

En ce qui concerne la répartition des taux d'invalidité selon la qualité de l'expert au niveau des entreprises, 100% des dossiers sont traités et clôturés par des médecins généralistes. Le manque de formation au niveau des entreprises est un problème majeur et qui porte préjudice dans l'appréciation des taux d'invalidité dans notre environnement. Quant à la qualité de l'expert au niveau de CNSS, 90,7% de dossiers sont traités et clôturés par les médecins autres que les médecins du travail.

7 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

7.1 CONCLUSION

Notre étude centrée à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale a été menée dans trois directions de la Province du Haut-Katanga et elle a été subdivisée en trois phases.

La première phase a été menée dans les trois directions de la Caisse de Sécurité Sociale du Haut-Katanga. Cette étude avait mis en exergue les entreprises minières comme étant les plus accidentées avec 76% d'accidents.

Les données recueillies n'étant pas suffisantes pour nous permettre de répondre à nos questions de recherche et à nos hypothèses, nous avons mené une seconde phase de nos recherches au sein d'une entreprise minière qui avaient enregistré plus d'accidents de travail que les autres dont les données relevées nous ont permis d'affirmer que les déterminants des accidents du travail dans cette phase se résument comme suit:

- Le statut matrimonial, le niveau d'études, le manque de formation spécialisée, le manque de notions sur les risques professionnels, la charge sociale, le facteur organisationnel ainsi que le statut professionnel des salariés sont les déterminants des accidents du travail.
- Les membres supérieurs suivis des membres inférieurs étaient les parties du corps les plus touchées. Cette situation s'explique par le manque de notion sur les risques professionnels.
- Les taux d'invalidité fixés par les médecins sur base du moniteur officiel de la République Démocratique du Congo sont les déterminants dans la réparation des dommages corporels.

Les hypothèses étant confirmées, nous recommandons d'autres recherches sur certaines données non évoquées dans cette étude afin de contribuer davantage à l'amélioration des conditions des travailleurs pouvant les mettre à l'abri des accidents de travail.

7.2 SUGGESTIONS

Les résultats de cette étude ont permis de comprendre que 98 % des accidents du travail sont dus au défaut d'information des travailleurs sur les consignes de sécurité. Ils ont un impact majeur sur les recettes. A ce propos, nous suggérons:

Au gouvernement:

La mise sur pieds des structures compétentes pour la régulation des problèmes de sécurité et santé au travail qui pèse lourdement sur la l'assiette fiscale de la CNSS en passant par l'Inspection médicale du travail ainsi que la révision du barème officiel d'invalidité au regard du contexte socio-économique.

A la CNSS:

Le renforcement des missions de conseil et de contrôle dans le secteur minier.

Aux employeurs:

- L'application de la législation en matière de sécurité et santé au travail par les employeurs et les employés,
- L'élaboration et l'exécution des programmes d'information et de formation des travailleurs sur les consignes de sécurité;

Aux travailleurs:

- Le respect des consignes de sécurité;
- -Leur engagement dans toutes les activités de prévention des risques professionnels.

REFERENCES

- [1] Aballea P. et Etienne M., 2012. L'évaluation de l'état d'invalidité en France: Réaffirmer les Concepts, Homogénéiser les Pratiques et Refondre le Pilotage du Risque, Inspection Générale des Affaires Sociales, Rapport Tome 2 Annexes, 206p.), Paris, France.
- [2] Ahoua Nogbou A. 2013. Améliorer la collecte des données: la diffusion des données relatives aux maladies professionnelles. Notification et enregistrement des maladies professionnelles. [En ligne] Disponible sur: <http://japrp.cylaya.net/wp-docs/conference-collecte-et-diffusion-des-donnees.pdf>. (Consulté le 02/08/2014).
- [3] Beneteau L. Véronique D., Cathy M. et Muriel R., 2013. Réseau des Documentalistes en Santé au Travail de la Loire, 19p). Bulletin Documentaire Régional de Mai.4.
- [4] BenLaiba M., 2007. Profil national de santé et sécurité au travail en Tunisie. Tunis: I SS T.
- [5] Boisselier J, Derrien MF., 1984. Sécurité et conditions de travail. Paris: Ed Organisation.
- [6] Bureau International du Travail (France). 1999. La déclaration et la surveillance des lésions professionnelles. Bull IT; 13 (4): 233-48.
- [7] Bureau International du Travail (Genève). 1984. Prévention des accidents: manuel d'éducation ouvrière. Genève BIT.
- [8] Chabonnier J., 1980. L'accident du travail et le management de la prévention. Paris: Ed. Hommes & Techniques.
- [9] Dupeyroux JJ., 1985. La réparation et la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Revue de la sécurité sociale, 5ème éd. Paris: CNSS.
- [10] Kouadio NK. 2005. Etude des facteurs explicatifs de la survenue des accidents du travail dans les entreprises du secteur privé en Côte d'Ivoire. Abidjan. ENSEA.
- [11] Ministère du Travail et de la Sécurité Sociale (Burkina Faso). 2008. Analyse des données travail et sécurité sociale. Ouagadougou: MTSS.
- [12] Ministre du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale, RDC; 2016. Loi n° 004 du 20 juillet 2004 relative à la sécurité sociale aux. JO p 875).
- [13] Pham D., 1988. Evaluation du coût indirect des accidents du travail. Cahiers des notes documentaires (8): 130-88.
- [14] Petiet G. Les accidents de travail: définition et constitution du dossier. Revue du Praticien 1988; 39: 120-6.
- [15] Roland M.; Hayet Z., 1975. Reflexions et propositions relatives à la réparation intégrale des accidents du travail et des maladies professionnelles. Article 1 de la résolution du Conseil de l'Europe relative à la réparation en cas de lésions corporelles.

Étude des déterminants des accidents du travail déclarés à la caisse nationale de sécurité sociale dans la province du Haut-Katanga, République Démocratique du Congo de 2010 à 2016

[Study of the determinants of work accidents declared to the national social security fund in the province of Haut-Katanga, Democratic Republic of Congo from 2010 to 2016]

Kalumba Ilunga Cléophas¹, Muleka Ngindo², Mathias Kouassi³, Elisabeth Yehouenou⁴, and Barthélemy Wognin³

¹Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

²Faculté de Psychologie, Université de Lubumbashi, RD Congo

³Médecine du Travail, Université Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

⁴Département d'Environnement, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

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: Accidents at work are responsible for great suffering, great loss for employees and their families, employers and social security funds. Knowledge of these explanatory factors of occupational risks will enable the world of work to develop a coherent occupational safety and health program and to concretize the concept of decent work.

The general objective is to study the determinants and consequences of occupational risks in the formal sector of Haut-Katanga. This is a multicenter historical cohort study including all the occupational risk files of workers in the formal sector in Haut-Katanga province.

During the first phase (2010 to 2017), 510 work accident files were registered. The highest accident rate was recorded in 2012. Males accounted for 93.10%. The bride and groom were the most injured, 91.72%. The 1 to 10 year seniority bracket was the most rugged with 63.12%. The primary sector was the most rugged sector with 70.8% of which the miners represented 51.5%. Workers with a primary education level were the most injured with 83%. Multivariate analysis shows that workers in the primary sector are the most injured as are those with less than 7 years of seniority.

The study carried out in a mining company during the second phase showed that out of a total of 338 workers, 14 cases of work accidents were recorded in 2016. Among the injured, 84.6% had a seniority of at least 5 years and 83.1% were assigned in mining operations.

In view of the above, socio-demographic variables and the sector of activity are among the determinants of occupational risks.

KEYWORDS: Occupational risks, determinants, formal sector, Haut Katanga, DRC.

RESUME: Les accidents du travail sont responsables de grandes souffrances, de perte importantes pour les employés et leurs familles, les employeurs et les caisses de sécurité sociale. La connaissance desdits facteurs explicatifs des risques professionnels permettra au monde du travail l'élaboration d'un programme de sécurité et de santé au travail cohérent et à la concrétisation de la notion du travail décent.

L'objectif général est d'étudier les déterminants et les conséquences des risques professionnels dans le secteur formel du Haut-Katanga.

Il s'agit d'une étude de cohorte historique multicentrique comprenant tous les dossiers des risques professionnels des travailleurs du secteur formel dans la province du Haut-Katanga.

Au cours de la première phase (2010 à 2017), 510 dossiers d'accidents du travail ont été enregistrés. Le taux le plus élevé d'accident a été enregistré en 2012. Le sexe masculin représentait 93,10 %. Les mariés ont été les plus accidentés, soit de 91,72%. La tranche d'ancienneté de 1 à 10 ans a été la plus accidentée avec 63,12%. Le secteur primaire était le secteur le plus accidenté avec 70,8% parmi lesquels les miniers représentaient 51,5%.

Les travailleurs ayant un niveau d'études primaires étaient les plus accidentés avec 83%. L'analyse multivariée montre que les travailleurs du secteur primaire sont les plus accidentés de même que ceux ayant une ancienneté inférieure à 7 ans.

L'étude menée dans une entreprise minière lors de la deuxième phase a montré que sur un total de 338 travailleurs, 14 cas d'accidents de travail ont été enregistrés au cours de l'année 2016. Parmi les accidentés, 84,6% avaient une ancienneté d'au moins 5 ans et 83,1% étaient affectés dans les opérations minières.

Au regard de ce qui précède, les variables sociodémographiques et le secteur d'activités sont parmi les déterminants des risques professionnels.

MOTS-CLEFS: Risques professionnels, déterminants, secteur formel, Haut Katanga, RDC.

1 INTRODUCTION

Les accidents du travail sont des préjudices subis par les travailleurs lors de l'exécution du travail. Il peut s'agir de préjudices subis lors du trajet du domicile vers le travail et vice versa lors d'une mission de service (République Démocratique du Congo; 2016; OIT, 2013).

Aux Etats -Unis d'Amérique, on dénombre 150 accidents mortels par jour (OIT et BIT, 2016). En Europe, il y a environ dix millions d'accidents du travail par an dont vingt mille cas mortels (INRS, 2012).

En Afrique, la Caisse Nationale de sécurité Sociale (CNSS) du Burkina Faso a enregistré 3.548 accidents du travail et maladies professionnelles en 2005 contre 2.268 en 2004 (CNSS, 2006).

En République Démocratique du Congo (R.D.C), l'étude de Myriam Elenge et al menée en 2011 sur les accidents du travail chez les exploitants miniers artisanaux révèle trois cents quatre-vingt-douze accidents affectant 72,2% des mineurs (Elenge et al, 2013). Les conditions de précarité que connaissent les miniers dans l'exercice de leur activité trouvent également la justification des accidents du travail comme soulignent certaines études (Wangata et al, 2011; Panda et al, 2011).

Au regard de ce qui précède, les données chiffrées recueillies font des accidents du travail un grand problème de santé publique (Orjaba et al, 2012).

Si dans les pays industrialisés, il est aisé d'obtenir des données épidémiologiques grâce aux systèmes de déclarations obligatoires, aux règlements sur la prévention ainsi qu'aux différentes lois (Ooteghen, 2006), dans les pays en développement comme la R.D.C, l'accessibilité aux données officielles pose problème par manque d'un personnel formé et les règlements de prévention presque inexistant ce qui justifie ce travail intitulé: « **Etude des déterminants des accidents du travail dans le secteur formel du Haut-Katanga** ».

1.1 OBJECTIFS

1.1.1 OBJECTIF GENERAL DE L'ETUDE

Déterminer la prévalence et la distribution des accidents du travail au sein des entreprises formelles dans le Haut-Katanga du 1^{er} Janvier 2010- au 31 janvier 2016.

1.1.2 OBJECTIF SPECIFIQUE

Identifier les déterminants des accidents du travail durant cette période d'étude.

1.2 PROBLEMATIQUE

Au vu des données susmentionnées comme souligné par certains auteurs, il ya lieu de mettre en exergue l'existence des facteurs explicatifs de la survenue des accidents du travail comme les variables socioprofessionnelles qui sont fréquemment

évoquées dans l'analyse du processus accidentel et qui comprennent le corps d'emploi où le type d'emploi occupé par le travailleur apparaissant comme un des facteurs associés au processus accidentel dans les entreprises (Hunting et al, 1994, Kisner et al 1994); le statut professionnel comprenant les emplois qualifiés et non qualifiés. Aussi avons-nous les variables organisationnelles qui proviennent des processus accidentels au sein des entreprises où la taille de l'entreprise (Boone, J. et al, 2006), le secteur d'activité, l'intensité du travail, l'environnement du travail ou la présence syndicale influencent le mode et l'organisation du travail (Euzenat, 2009). Signalons entre autres que les caractéristiques individuelles comme l'âge (Dawson D et al, 2011), le sexe (Lees et al, 1989) et l'expérience (Gervais M, 2006) constituent également des facteurs de risques.

Pour chaque catégorie de travailleurs, il peut y avoir une conjonction des causes endogènes et exogènes qui peuvent se présenter en facteurs favorisant la survenue des accidents de travail entre autres:

- Le non-respect des normes de santé et sécurité au travail;
- Le manque d'information et de formation sur les accidents de travail;
- L'ancienneté à un poste de travail.

Parmi les déterminants relevés dans la littérature:

Quels seraient les déterminants des accidents du travail déclarés à la Caisse de Sécurité Sociale dans la province du Haut-Katanga de 2010 à 2016 que nous allons identifier dans cette étude ?

2 MATERIEL, METHODE ET TECHNIQUE

2.1 NATURE ET POPULATION D'ETUDE

Il s'agit d'une étude transversale à visée analytique basée sur la fouille documentaire des archives de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (Modèle A1, A2, A3, A4, les registres) portant sur la période du 1^{er} Janvier 2010 au 31 Décembre 2016.

2.2 POPULATION CIBLE

La population d'étude est constituée de tous les dossiers des accidentés traités et clôturés durant la période notre étude.

2.3 ECHANTILLONAGE

Il s'agit d'un échantillonnage exhaustif prenant en compte tous les cas d'accidents de travail déclarés et traités dans ces deux directions.

2.4 TAILLE DE L'ECHANTILLON

Au total 510 dossiers d'accidents du travail déclarés et traités dans les deux directions provinciales de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (Lubumbashi avec son antenne de Kipushi, la Direction de Kasumbalesa ainsi qu'à la Direction Provinciale de Likasi) dans la province du Haut - Katanga.

2.5 COLLECTE DES DONNEES

Une fiche de collecte des données a été élaborée pour la circonstance et a servi à la collecte des données statistiques sur base des dossiers d'enregistrement des déclarations des accidents du travail.

2.6 TECHNIQUE

Nous avons fait recours aux documents du service de risques professionnels fiches modèles (AT): A₁, A₂; A₃ A₄), les registres des déclarations des accidents du travail au niveau du service des risques professionnels de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale pour la période du 1^{er} Janvier 2010 au 31 décembre 2016.

3 CADRE DE L'ETUDE

3.1 DELIMITATION SPATIALE

Cette étude a été menée auprès de deux directions provinciales de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (Lubumbashi avec son antenne de Kipushi, la Direction de Kasumbalesa ainsi qu'à la Direction Provinciale de Likasi) dans la province du Haut - Katanga dont la superficie est de 132 425 km² avec une population estimée à 3 960 945 hab. (2006). La densité¹ est de 30 hab/km².

3.2 CRITERES D'INCLUSION

- Etre travailleur affilié à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale dans la Province du Haut-Katanga;
- Avoir été victime d'un accident de travail durant la période d'étude.
- Travailler à un poste où il y a eu l'accident de travail au sein de l'entreprise durant la période de l'étude;
- Avoir un dossier déclaré, traité et clôturé.

3.3 CRITERE DE NON INCLUSION

N'ont pas été inclus de cette étude, tous les dossiers déclarés et non clôturés par la CNSS.

4 RESULTATS

4.1 PHASE 1: ETUDE DES DETERMINANTS DES ACCIDENTS DU TRAVAIL ET DE LA REPARATION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL DANS LA PROVINCE DU HAUT- KATANGA

Prévalence et la distribution des accidents du travail déclarés à la CNSS dans le Haut-Katanga du 1^{er} Janvier 2010- au 31 janvier 2016.

ANALYSES UNIVARIEES

4.1.1 EFFECTIF

La Caisse Nationale de Sécurité Sociale de la province du Haut-Katanga a enregistré 2013 dossiers des risques professionnels parmi lesquelles 510 dossiers ont été traités et clôturés.

4.1.2 DONNEES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES

Tableau 1. Fréquence d'accidents de travail par année

ANNEE	Fréquence	Pourcentage (%) (%)
2010	117	22,94
2011	103	20,20
2012	159	31,18
2013	50	9,80
2014	15	2,94
2015	9	1,76
2016	57	11,18
Total	510	100%

¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Haut-Katanga>

L'année 2012 est l'année où on a dénombré le plus grand nombre d'accidentés avec une fréquence de 31,18%.

○ Tranche d'âge

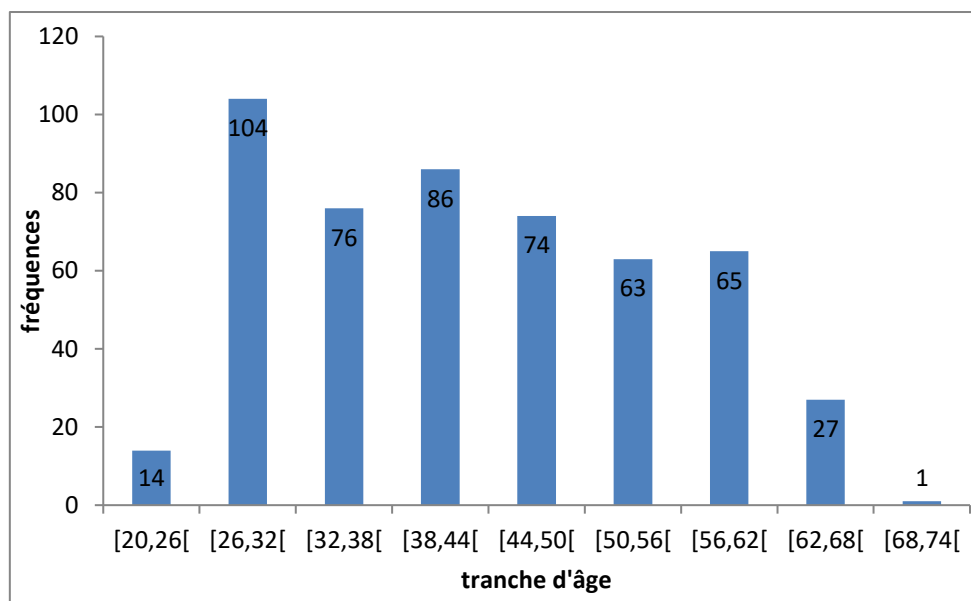


Fig. 1. Histogramme de la distribution de fréquence des accidentés de travail par tranche d'âge

Tranche d'âge la plus accidentée est celle comprise entre 26 et 32 ans avec 104 sujets, soit 20,55%.

○ Sexe

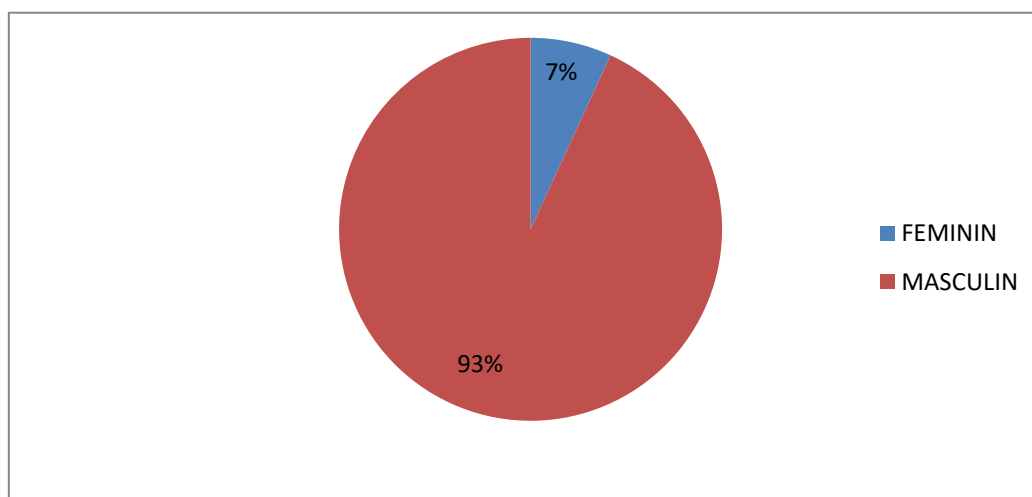


Fig. 2. Répartition des accidentés de travail en fonction du Sexe

Le sexe masculin est prépondérant avec une proportion de 475 sujets sur 510. Soit 93,14% des cas.

○ Etat matrimonial

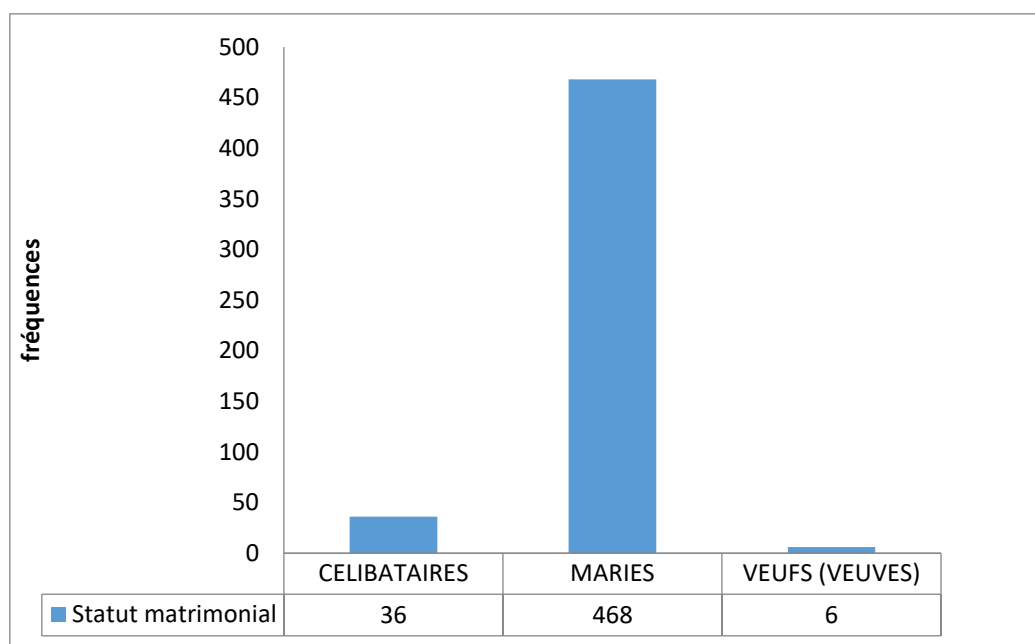


Fig. 3. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le statut matrimonial

La majorité des sujets, soit 91,76% sont mariés.

○ Niveau d'étude

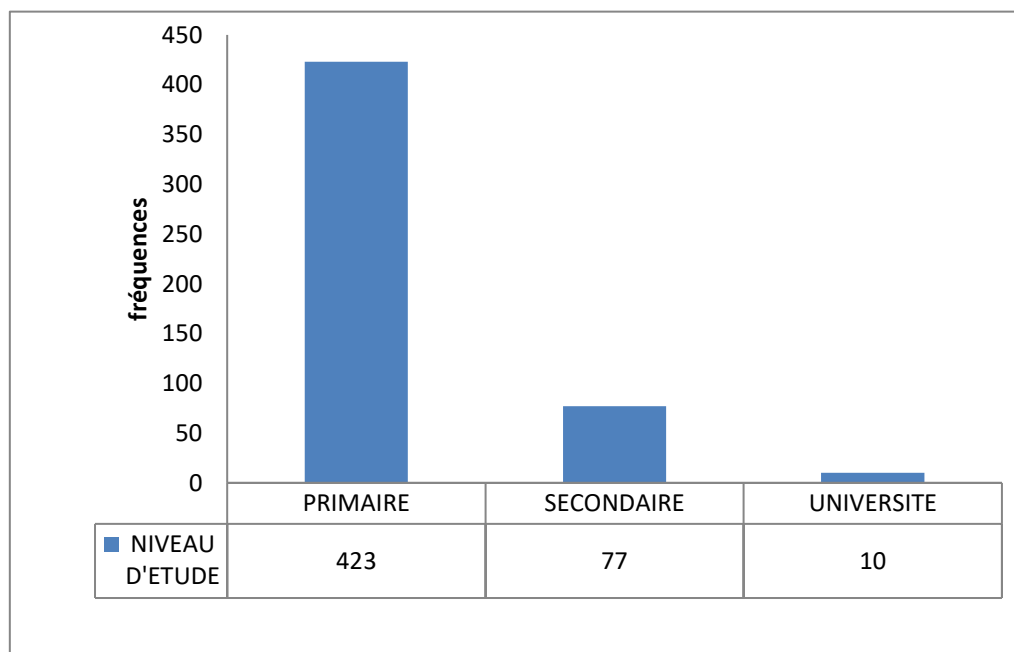


Fig. 4. Répartition des accidentés de travail selon le niveau d'étude

82,94% des sujets ont un niveau d'études primaires.

4.1.3 DONNEES PROFESSIONNELLES

- Données des accidents du travail en rapport avec les entreprises

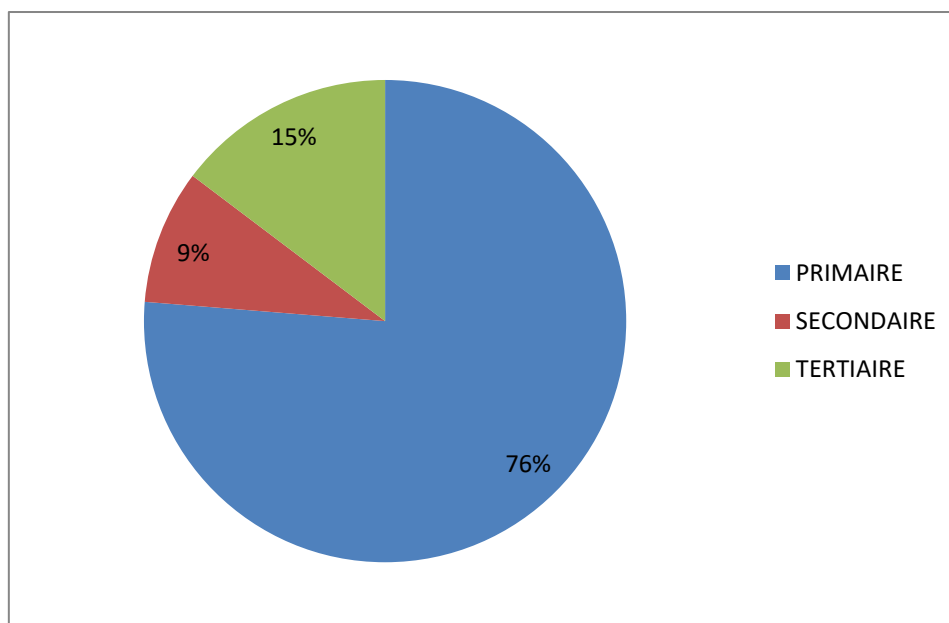


Fig. 5. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le secteur d'activité

Les entreprises minières sont les entreprises les plus accidentées avec 76%.

- Formation spécialisée des agents

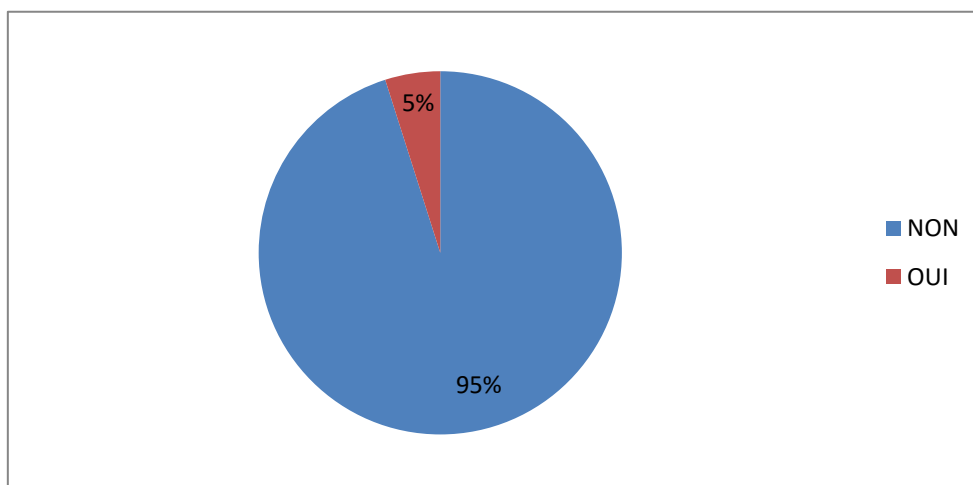


Fig. 6. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon la formation spécialisée

95,10% des sujets n'ont aucune formation spécialisée.

○ Ancienneté des sujets

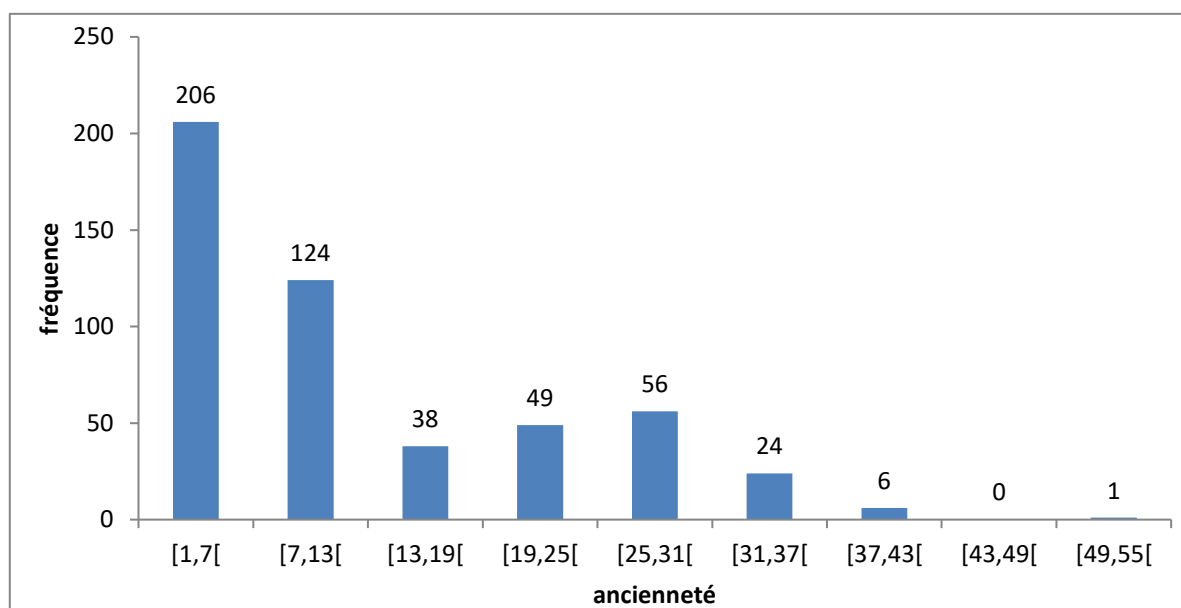


Fig. 7. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon l'ancienneté des sujets

Les accidents de travail sont l'apanage des travailleurs moins expérimentés, soit 40,71% de nos sujets ont moins de 7 ans d'ancienneté.

VARIABLES DEPENDANTES

4.1.4 DONNEES MEDICALES

○ Type d'accident

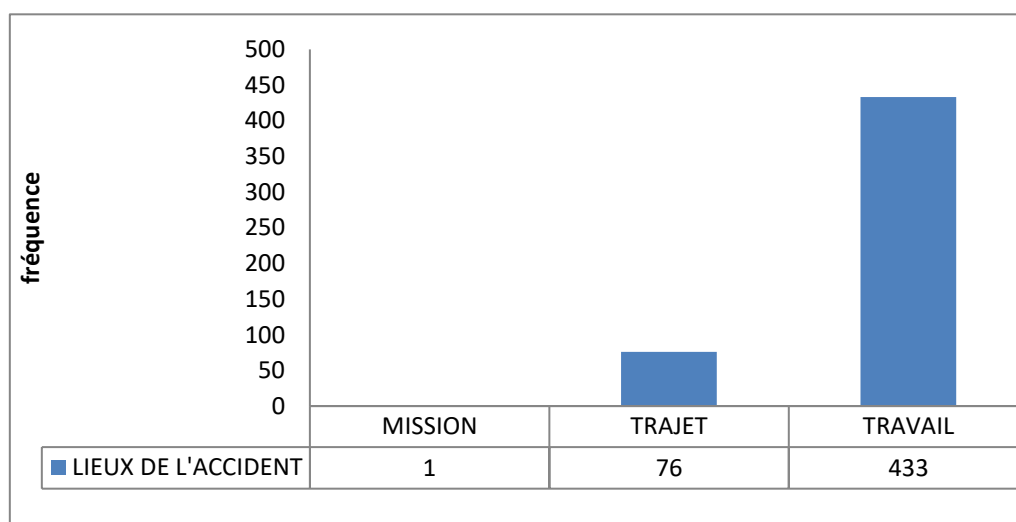


Fig. 8. Distribution de fréquence des accidentés de travail selon le type d'accident

84,90% d'accidents sont des accidents du travail proprement-dits.

4.2 PHASE II. ETUDE DES FACTEURS DE RISQUE DANS UNE ENTREPRISE MINIERE DANS LA PROVINCE DU HAUT- KATANGA

4.2.1 TYPE D'ETUDE

Il s'agit d'une étude analytique des facteurs de risque aux différents postes de travail au sein d'une entreprise minière du Haut-Katanga qui s'était déroulée du 01 février 2016 au 01 Février 2017.

✓ Population d'étude

Elle est constituée des travailleurs d'une société d'extraction des minerais dans le Haut-Katanga en République Démocratique du Congo.

Ces travailleurs sont repartis en trois groupes et occupent les postes que voici:

- Les opérations minières (sondage, minage, chargement, transport, concassage, du planning minier, de la maintenance des engins, de l'exploration géologique et minière);
- La métallurgie et la maintenance des usines;
- Le service d'appui constitué de département des ressources humaines, de département juridique, le personnel du magasin et de la logistique.

✓ Critères d'inclusion

- Être salarié de l'entreprise;
- Être présent au niveau du site d'exploitation de l'entreprise au moment de l'enquête (du 1^{er} Février 2016 au 1^{er} Février 2017);

✓ Critères de non inclusion

Ne pas répondre aux deux critères susmentionnés.

4.2.2 ECHANTILLONNAGE

Notre échantillon est centré sur la liste des travailleurs présents sur les lieux de travail et qui ont accepté de répondre à notre questionnaire. Sur les 338 travailleurs interviewés, 258 sont classifiés (76%) et 80 employés non classifiés (24%).

4.2.3 ANALYSE DES DONNEES

Cette étude a pour objet d'une part la description des variables individuelles, l'analyse des associations entre deux ou plusieurs variables (variables socioprofessionnelles, indépendantes, organisationnelles, caractéristiques individuelles). Cette étude a été basée sur l'étude des facteurs de risque liés aux différents postes de travail et aux mesures de prévention.

Une fiche de facteurs de risque a été élaborée à cette fin.

Les mêmes variables comme à la phase 1 de l'étude ont été analysées afin de mieux comprendre les phénomènes liés aux accidents du travail dans cette entreprise minière.

ETHIQUE

L'étude a été menée dans un strict respect des règles recommandées par l'éthique et la déontologie médicales et cela après l'obtention de l'autorisation du comité d'Ethique Médicale de l'Université de Lubumbashi, de l'entreprise qui souhaite garder l'anonymat et de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale pour l'enquête.

4.2.4 EFFECTIFS

338 travailleurs ont constitué- la population de notre étude.

Tableau 2. *Distribution des cas suivis au cours d'une année dans une entreprise d'extraction des minerais dans le Haut-Katanga*

Accidents du travail	Effectif	Pourcentage (%)
Accidentés	14	4,14
Non accidentés	324	95,86
Total	338	100%

4,14% de travailleurs ont connu un accident de travail.

4.2.5 DONNEES SOCIODEMOGRAPHIQUES

Tableau 3. *Répartition des cas des accidentés de travail selon l'âge*

Tranche d'âge	Effectif	Pourcentage (%)
24 à 30 ans	2	14,29
31 à 37 ans	6	42,86
38 à 44 ans	4	28,57
45 à 51 ans	2	14,29
Total	14	100%

42,86% des accidentés du travail ont l'âge compris entre 31 et 37 ans.

Tableau 4. *Distribution des accidentés de travail selon le sexe*

SEXE	Effectif	Pourcentage (%)
Masculin	14	100
Féminin	0	0
Total	14	100%

100% des accidentés sont de sexe masculin

Tableau 5. *Répartition des accidentés de travail selon l'état civil*

ETAT CIVIL	Effectif	Pourcentage (%)
MARIE	14	100
Veuf	0	0
Célibataire	0	0
Total	14	100%

100% des accidentés sont des mariés.

○ Niveau d'études

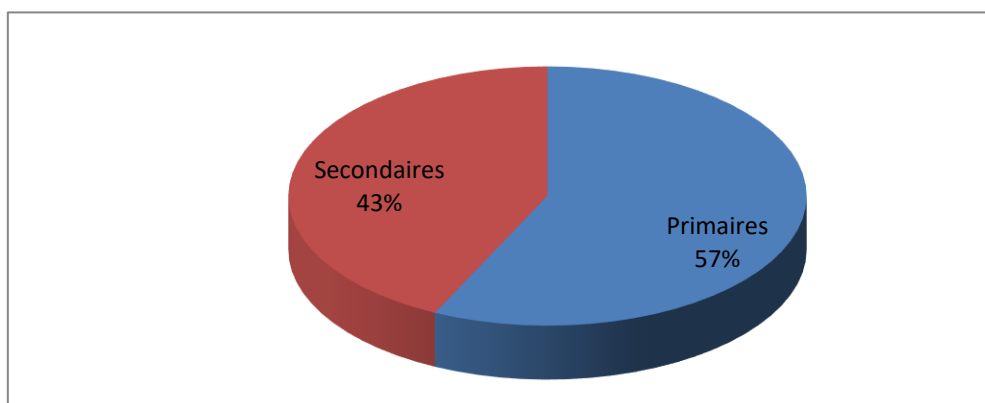


Fig. 9. Distribution des accidentés de travail selon le niveau d'étude

100% des accidentés sont de non qualifiés. 57% d'entre eux se sont limité à l'école primaire.

Tableau 6. Distribution des accidentés de travail selon la nationalité

NATIONALITE	Effectif	Pourcentage (%)
Congolais	14	100
Étranger	0	0
Total	14	100%

100% des accidentés ont la nationalité congolaise.

Tableau 7. Distribution des accidentés de travail selon la charge sociale

Charge sociale	Effectif	Pourcentage (%)
1 à 5 enfants	2	14,29
6 à 12 enfants	12	85,71
Total	14	100%

85,71% des accidentés ont une charge sociale de 6 à 8 enfants.

4.2.6 DONNEES PROFESSIONNELLES

Tableau 8. Répartition des accidentés de travail selon l'ancienneté

ANCIENNETE EN ANNEES	Effectif	Pourcentage (%)
1 à 5 ans	8	57,14
6 à 10 ans	6	42,86
Total	14	100%

57,14% des accidentés ont une ancienneté comprise entre 1 et 5 ans.

Tableau 9. *Distribution des accidentés de travail selon le nombre d'heures de service*

Nombre d'heures de service de l'agent par jour	Effectif	Pourcentage (%)
8 heures	14	100
Plus de 8 heures	0	0
Total	14	100%

100% des travailleurs ont des heures de travail non atypiques et de durée de 8 heures.

Tableau 10. *Distribution des accidentés de travail selon le type de contrat*

CONTRAT DE TRAVAIL	Effectif	Pourcentage (%)
Durée indéterminée	14	100
Durée déterminée	0	0
Total	14	100%

100% des accidentés du travail ont un contrat à durée indéterminée.

Tableau 11. *Répartition des accidentés de travail selon le département*

POSTE DE TRAVAIL	Effectif	Pourcentage (%)
Mine	13	92,86
Magasin	1	7,14
Total	14	100%

92,86% des accidentés du travail sont affectés au poste de mine et représente le poste de travail le plus accidenté.

Tableau 12. *Distribution des accidentés de travail selon le port EPI par poste de travail*

EPI POSTE DE TRAVAIL	OUI /NON	Effectif	Pourcentage (%)
Mine	oui	13	92,86
Magasin	oui	1	7,14
Total		14	100%

100% des accidentés prétendent porter les EPI.

4.2.7 DONNEES MEDICALES

Tableau 13. *Distribution des accidentés de travail selon les examens au sein de l'entreprise*

ENTREPRISE	OUI		NON	
	Effectif	Pourcentage (%)	Effectif	Pourcentage (%)
Visite d'embauche	14	100	0	0
Visite périodique	0	0	14	100
Visite de reprise de travail	14	100	0	0
Visite de fin de travail	0	0	14	100
Etude des facteurs de risque	0	0	14	100
Médecin du travail	0	0	14	100
Investigations complémentaire	0	0	14	100

Il ressort de ce tableau que tous les 14 travailleurs ont subi des examens d'embauche, un examen de reprise du travail. Aucun d'entre eux n'a subi des investigations complémentaires ni étaient examinés par le médecin du travail dans l'entreprise

o Lieu de l'accident

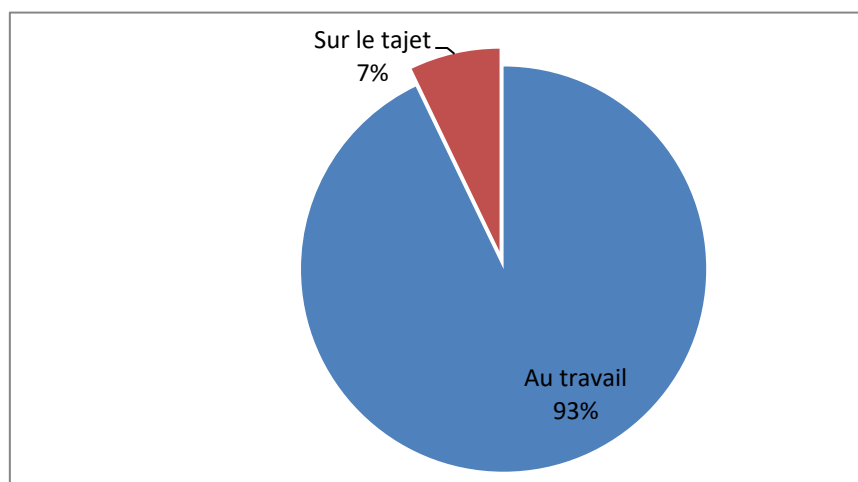


Fig. 10. Distribution des accidents de travail selon le lieu

93% d'accidents sont survenus sur le lieu du travail et 7% des accidents sur le trajet.

Tableau 14. Etude des facteurs de risque et suivi des travailleurs au sein de l'entreprise

N°	Poste de travail	Facteurs de risque	Etude de facteurs de risque	EXAMEN AU SEIN DE L'ENTREPRISE				Rythme des examens faits
				Embauche	Périodique	Reprise de trav.	Invest. Compl.	
1	MINE	Charge mentale élevée	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
2	MINE	Hyper sollicitation des membres supérieurs	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
3	MINE	Horaires atypiques	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
4	MINE	Physiques: Ambiance thermique	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
5	MINE	Toxico-allergiques: -Emanations gazeuses (CO, CO2, SO2,...),	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
6	MINE	Traumatismes élevés	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
7	MINE	Postures contraignantes (Position debout prolongée)	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
8	MAGASIN	Charge mentale élevée	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
10	MINE	Physiques: Ambiance thermique	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
11	MINE	Toxico-allergiques: -Emanations gazeuses (CO, CO2, SO2.),	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an
12	MINE	Postures contraignantes (Position debout prolongée)	Non	Oui	Non	Oui	Non	1 an

En dehors des examens d'embauche et de reprise du travail, les travailleurs sont exposés à un risque accru de faire les accidents du travail et les maladies professionnelles par manque du respect des normes en rapport avec la surveillance de la santé des travailleurs.

5 DISCUSSION

On note dans cette première étude, une montée sensible des accidents de travail de 2010 à 2016 avec un Pourcentage (%) élevé de 31,18% en 2012. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus en Europe où on observe une diminution allant de (0,61% à 0,42 %) de 2002 à 2011, Cette tendance pourrait s'expliquer par les efforts de prévention réalisés dans le domaine de santé et sécurité au travail. La même tendance est constatée dans les 27 pays de l'Union Européenne où on a enregistré une baisse de 20% (Caisse Nationale de l'Assurance Maladie et des travailleurs Salarisés, France; 2013). Par contre nos valeurs sont inférieures à celles obtenues en Tunisie, où la baisse enregistrée n'est que de 10 % (de 43,2 % en 1995 à 33,3% en 2005) (Ben Laiba; 2007). Cela serait dû à la faiblesse dans la prévention..

L'âge, le sexe, le niveau d'études, l'état civil et l'ancienneté sont des caractéristiques socioprofessionnelles importantes qui sont prises en compte dans la survenue des accidents de travail. Dans la province du Haut-Katanga, les entreprises utilisent généralement les travailleurs âgés de 20 ans à plus de 60 ans.

Dans cette étude, la tranche d'âge la plus affectée est comprise entre 40 et 49 ans et représente 25,8% des victimes des accidents de travail. Ces données sont similaires à celles obtenues au Bénin par Fayomi et collaborateurs qui ont constaté que les accidents de travail affectent les sujets âgés de 40 à 49 ans (INRS; 1995).

Dans la province du Haut-Katanga, le sexe masculin est le plus touché par les accidents de travail soit 93,1%. Ceci se justifie d'une part par la dangerosité des métiers exercés par les hommes et l'attention particulière des femmes face à la prévention des risques liés aux accidents de travail. Cette observation corrobore à celle de Ahoua Nogbouen (Côte d'Ivoire) dont les statistiques montrent que 87,5% des hommes sont accidentés contre 12,5% des femmes (INRS; 2013). Les mariés étant plus représentés dans notre étude, ils sont les plus victimes des accidents de travail avec 91,72%. Ces données soutiennent la notion du statut social évoquée par (St-Amour N., Johnno L., Devault A. et Manseau, 2005) où le job strain est plus élevé chez les mariés que les célibataires. Signalons que le nombre d'accidents de travail déclarés à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale décroît selon l'ancienneté avec un taux élevé durant les sept (07) premières années d'activité. Dans cette étude, seuls les travailleurs ayant une ancienneté comprise entre 1 et 10 ans sont les plus accidentés avec un taux de 63,1%. Ces résultats sont contraires à ceux de l'Union Européenne (UE) où on constate que 59% des accidents ont lieu dans les cinq premières années (Stellman JM. Paris: INSERM; 1997). Aussi faudrait-il signaler que le nombre d'accidents de travail diminue avec l'ancienneté. Ainsi, les travailleurs ayant une ancienneté de 31 ans ou plus sont les moins touchés et représentent une proportion de 5,9 %. Nous pouvons dire que l'expérience professionnelle constitue un des éléments de maîtrise des accidents de travail.

Les travailleurs ayant un niveau d'études primaires sont les plus accidentés avec un taux de 70,81%.

Le secteur primaire où nous avons les mines constitue le secteur le plus affecté par les accidents du travail avec un taux de 70,8%. Cette situation se justifie par le fait qu'il constitue l'activité principale de l'économie de la province du Haut-Katanga..

Signalons aussi que la majorité des accidents du travail sont enregistrés pendant la nuit (55% pour le secteur primaire; 0,8% pour le secteur secondaire et 0,2% pour le secteur tertiaire). Cette situation se justifie par la fatigue et le trouble de sommeil.

Les ouvriers constituent les groupes les plus atteints et cela s'explique par le fait qu'ils sont les plus utilisés dans le secteur de production et par conséquent ils manipulent plus quotidiennement les machines et les outils à mains. Les travailleurs des entreprises minières sont les plus victimes des accidents de travail que les travailleurs d'autres entreprises et représentent 51.5% de cas. Parmi ces travailleurs des entreprises minières, les mineurs représentent à eux seuls une proportion de 25 % des victimes. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus au Burkina Faso où les ouvriers et les manœuvres (36,24% et 36,68%) sont les plus touchés (CNSS; 2006).

Les accidents qui surviennent sur le lieu du travail représentent 84,22 % suivis des accidents du trajet 14,99%. Ces accidents qui surviennent sur le lieu de travail, lors de l'exécution de tâches, s'expliquent par l'exposition des travailleurs aux dangers dus à la manutention, à la projection d'objets, aux mauvaises méthodes de soulèvement des charges trop pesantes ou trop encombrantes, au défaut de protection individuelle (Stellman JM. Paris: BIT; 2007). La répartition des risques professionnels et l'heure de survenue s'expliquent par les facteurs liés à l'environnement du travail, le mode d'organisation du travail (Krause et al, 2001).

6 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

6.1 CONCLUSION

Notre étude centrée à la Caisse Nationale de Sécurité Sociale a été menée dans trois directions de la Province du Haut-Katanga et elle avait mis en exergue les entreprises minières comme étant les plus accidentées avec 76% d'accidents.

Les données recueillies n'étant pas suffisantes pour nous permettre de répondre à nos questions de recherche et à nos hypothèses, nous avons mené une seconde phase de nos recherches au sein d'une entreprise minière qui avaient enregistré plus d'accidents de travail que les autres dont les données relevées nous ont permis d'affirmer que les déterminants des accidents du travail dans cette phase se résument comme suit:

Le statut matrimonial, le niveau d'études, le manque de formation spécialisée, le manque de notions sur les risques professionnels, la charge sociale, le facteur organisationnel ainsi que le statut professionnel des salariés sont les déterminants des accidents du travail.

Les hypothèses étant confirmées, nous recommandons d'autres recherches sur certaines données non évoquées dans cette étude afin de contribuer davantage à l'amélioration des conditions des travailleurs pouvant les mettre à l'abri des accidents de travail.

6.2 SUGGESTIONS

Les résultats de cette étude ont permis de comprendre que 98 % des accidents du travail sont dus au défaut d'information des travailleurs sur les consignes de sécurité. Nous suggérons:

Au gouvernement:

La mise sur pieds des structures compétentes pour la régulation des problèmes de sécurité et santé au travail en passant par l'Inspection médicale du travail ainsi que la révision du barème officiel d'invalidité au regard du contexte socio-économique.

A la CNSS:

- La création d'un observatoire national des accidents du travail et des maladies professionnelles;
- La diffusion des statistiques actualisées sur les accidents du travail et les maladies professionnelles aux acteurs du monde du travail pour orienter les actions et plans de prévention;
- Le renforcement des missions de conseil et de contrôle dans le secteur minier.

Aux employeurs:

- L'application de la législation en matière de sécurité et santé au travail par les employeurs et les employés;
- L'élaboration et l'exécution des programmes d'information et de formation des travailleurs sur les consignes de sécurité;
- Le développement des activités de lutte contre les risques psychosociaux et de promotion des activités de bien-être au travail.

Aux travailleurs:

- Le respect des consignes de sécurité;
- Leur engagement dans toutes les activités de prévention des risques professionnels.

REFERENCES

- [1] Ahoua Nogbou A. 2013. Améliorer la collecte des données: la diffusion des données relatives aux maladies professionnelles. Notification et enregistrement des maladies professionnelles. [Online] Available: <http://japrp.cylaya.net/wp-docs/conference-collecte-et-diffusion-des-donnees.pdf>. (Consulté le 02/08/2011).
- [2] BenLaiba M., 2007. Profil national de santé et sécurité au travail en Tunisie. Tunis: I S S T.
- [3] Brun A, Simons J., 1997. Accidents de travail: description et analyse. Paris: INSERM.
- [4] Caisse National de la Sécurité Sociale de Burkina Faso. 2006. Annuaire statistique. Ouagadougou: CNSS.
- [5] Dawson Drew, Noy YI, Härmä MIKKO, AkerstedtTorbjon, Belenky Gregory. 2011. Modelling fatigue and use of fatigue in work settings. *Accid Anal Prev.*; 43 (2): 549-564.
- [6] Elenge M, Leveque A, De Brower C, AubryJC, Farr P., 2013. Occupational Accidents in Artisanal Mining in Katanga. *Int J of Occupational Med and Environnement Health* 6 (1): 31).
- [7] Euzenat D., 2009. L'exposition des salariés aux accidents du travail en 2007, Premières synthèses, DARES, n°50-2, décembre.
- [8] Fayomi B, Zohoun T, Vigan L. Les accidents de travail pris en charge par la sécurité sociale au Bénin de 1985 à 1989. *Revue de Médecine du Travail* 1993; 20 (4): 201-9.

- [9] Hunting et al., 1994. Surveillance of construction worker injuries through an urban emergency department. *Journal of occupational medicine*. Volume 36.
- [10] Institut National de la Recherche et de la Santé (France). 2013. Journée mondiale de la Santé: dossier accidents de travail. [Online] Available: <http://www.inrs.fr/accueil/footer/presse/cp-journee-mondiale-sante-travail.html>. (Consulté le 02/07/2014).
- [11] Institut National de Recherche et de Sécurité, 2012. Statistiques AT-MP 2011 de l'assurance maladie-Les chiffres de la sinistralité. [Online] Available: <http://www.inrs.fr/accueil/header/actualites/statistiques-ATMP-2011.html>.
- [12] Institut National de Recherche et de Sécurité (France). 1995. Les risques professionnels dans le bâtiment et les travaux publics: travail et sécurité. Paris: INRS.
- [13] Institut National de la Recherche et de la Santé (France). 2013. Journée mondiale de la Santé: dossier accidents de travail. [Online] Available: <http://www.inrs.fr/accueil/footer/presse/cp-journee-mondiale-sante-travail.html>. (Consulté le 02/07/2014).
- [14] Kisner et al., 1994. Injury hazards in the construction industry. *Journal of occupational medicine*.
- [15] Krause, N., Frank, J.W., Dasinger, L.K., et al., 2001. Determinants of Duration of Disability and Return -to- Work after Work-Related Injury and Illness: Challenges for Future Research, *American Journal of Industrial Medicine*, 40, pp. 464-484.
- [16] Lees et al., 1989. Increasing the understanding of industrial accidents: an analysis of potential major injury records. *Canadian Journal of public health*.
- [17] Ooteghem Paul., 2006. Work-related Injuries and Illnesses in Botswana. *Int J Occup Environ Health.*; 12 (1): 42-51.
- [18] Organisation Internationale du Travail (Genève). 2013. Maladies professionnelles. [Online] Available: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Maladie>. (Consulté le 10/08/2014).
- [19] Organisation Internationale du Travail et Bureau International du Travail., 2016. 150 accidents mortels par jour aux USA.
- [20] OrjabaSehat, Kourosh HN, Mohsen AL, Abbas Rahimi, Hossein MA., 2012. Socioeconomic Status and Incidence of Traffic Accidents in Metropolitan Tehran: A Population-based study. *Int J Prev Med*. 3 (3): 181-190.
- [21] Panda JP, De Brower Christophe. 2011. Etude des facteurs associés dans la survenue des accidents du travail dans une industrie textile en République Démocratique du Congo. *Arch Mal Prof environ*. 71 (2): 171-179.
- [22] Présentation de la province du Haut Katanga. [Online] Available: <http://www.congo-autrement.com/pâge/les-26-provinces-de-la-rdc/presentation-de-la-nouvelle-province-du-haut-katanga.html>.
- [23] Ministre du Travail, Emploi et Prévoyance Sociale, RDC; 2016. Loi n° 004 du 20 juillet 2004 relative à la sécurité sociale aux. JO p 875).
- [24] St-Amour N., Johanne L., Devault A., Manseau S. L. 2005. Une difficulté de conciliation Travail-Famille: Les impacts sur la Santé physique et Mentale des familles Québécoises. Québec: Institut National de Santé Publique, Direction Développement des Individus et des Communautés. p30.
- [25] Stellman JM., 2007. Encyclopédie de Sécurité et de santé au travail. Accidents du Travail. Paris: BIT;.
- [26] Tsutsumi, A., Kayaba, K., Ojima, T., Ishikawa, S., & Kawakami, N., 2007. Low control at work and the risk of suicide in Japanese men: A prospective cohort study. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 76 (3). 177-185.
- [27] Wangata Jemima, De Brower Christophe. 2011. Modelisation DPSIR de la précarité des conditions de travail dans le secteur informel du transport urbain à Kinshasa. *J Int. Santé Trav*, 2: 7-14.

Mise au point d'une boisson à base de l'ananas, de l'orange et de la carotte au Bénin

[Development of a drink based on pineapple, orange and carrot in Benin]

Aissan Mahougnon Elsa Sidonie^{1,2}, Konfo Tétédéd Rodrigue Christian^{1,2}, Dedehou Emmanuelle², and Dahouenon-Ahoussi Edwige¹

¹Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01BP 2009 Abomey-Calavi, Benin

²École des Sciences et Techniques de Conservation et de Transformation des produits Agricoles, Université Nationale d'agriculture, BP 114 Sakété, Benin

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: Fruits and vegetables are an essential part of the human diet. Over the last twenty years, research in human nutrition has shown that a balanced diet rich in fruits and vegetables ensures good health and can reduce the risk of certain diseases. Unfortunately, their high water content limits their ability to conserve and creates the need to transform them. The present work aims to promote fruits and vegetables acclimated in Benin through the development, microbiological, sensory, physicochemical and nutritional characterization of orange and carrot pineapple cocktails. To do this, four (04) different cocktail formulations were obtained by mixing, at different proportions, the juices of these fruits. After an evaluation of the microbiological quality of the samples by standard methods, the cocktails were subjected to organoleptic tests. The sample selected (having received the best scores during sensory tests) was subjected to physicochemical and nutritional characterization. Microbiological analyzes revealed a complete absence of thermo-tolerant coliforms, *Escherichia coli*, and sulphite-reducing bacteria all samples. The yeast and mold load (<10 UFC/mL respectively) is well below the normative criteria in force ($2 \cdot 10^2$, 10^2 respectively). However, the number of microorganisms constituting the determined total mesophilic aerobic flora indicates a likely contamination of the different samples during handling. However, these results of microbiological analyzes indicate that the cocktails produced are of satisfactory microbiological quality. Considering the organoleptic characteristics evaluated (aroma, sweet taste, acid taste and color), it appears that the E3 sample (2 pineapple juice volumes for 1 orange juice volume and 1 volume of carrot juice) is the most accepted. The physicochemical analyzes reveal that this at a pH of 5.1 and an acidity of 3.39g/L, a water content of 73.69% (dry matter of 26.30%) and an ash content of 0.30%. Nutritional analyzes reveal that this product has a vitamin C content of 6.923mg/100g and calcium, potassium and magnesium contents respectively of 219.09 mg/kg, 1105.66 mg/kg and 160.337 mg/kg. It then becomes urgent to make acceptability tests for the promotion of the product.

KEYWORDS: Fruits, Vegetables, Juices, Analysis, Microorganisms.

RESUME: Une alimentation riche en fruits et légumes garantit une bonne santé et contribue à réduire de la survenue de certaines maladies. Le présent travail vise la valorisation des fruits et légumes au Bénin. Pour ce faire, quatre (04) différentes formulations de cocktails ont été réalisées. Après une évaluation de la qualité microbiologique des échantillons par la méthode standard de dénombrement, les cocktails ont été soumis aux tests organoleptiques. L'échantillon retenu (ayant reçu les meilleurs scores au cours des tests sensoriels) a fait objet de caractérisations physicochimique et nutritionnelle. Les analyses microbiologiques ont révélé une absence totale des coliformes thermo- tolérants, de *Escherichia coli*, et des bactéries sulfite-réductrices dans tous les échantillons. La charge de levures et de moisissures (<10 UFC/mL respectivement) est largement inférieure aux critères normatifs en vigueur (2×10^2 , 10^2 UFC/mL respectivement). Cependant, le nombre de micro-organisme

constituant la flore aérobie mésophile totale déterminé indique une contamination probable des différents échantillons pendant la manipulation. Toutefois ces résultats d'analyses microbiologiques indiquent que les cocktails produits sont de qualité microbiologique satisfaisante. En considérant les caractéristiques organoleptiques évaluées (arôme, goût sucré, goût acide et couleur), il ressort que l'échantillon E3 (2volumes de jus d'ananas pour 1volume de jus d'orange et 1volume de jus de carotte) est le plus accepté. Les analyses physicochimiques révèlent que cet échantillon à un pH de 5,1 et une acidité de 3,39g /L, une teneur en eau de 73,69% (matière sèche de 26.30%) et une teneur en cendre de 0.30%. Les analyses nutritionnelles révèlent que ce produit a une teneur en vitamine C de 6.923mg/100g et des teneurs en calcium, potassium et magnésium respectivement de 219,09 mg/Kg, 1105,66 mg /Kg et de 160,337mg /Kg. Il devient alors urgent de faire les tests d'acceptabilité en vue de la promotion dudit produit.

MOTS-CLEFS: Fruits, Légumes, Jus, Analyse, Microorganismes.

1 INTRODUCTION

De plus en plus, de nombreuses institutions considèrent la consommation des fruits et légumes comme un grand enjeu de santé publique en raison de leur capacité à aider l'organisme dans la prévention de certaines affections majeures. Leur production est en continuelle augmentation dans les pays en développement [1]. Ainsi, la production béninoise est estimée à 230 et 356Ktonne respectivement selon la FAO [2], mais le niveau de consommation de ces fruits et légumes par les ménages producteurs est bas et très peu variée, en tenant compte des normes établies par l'OMS/FAO et en prenant en compte leur grande disponibilité [3]. Ainsi, dans le contexte africain, la consommation de fruit et légume est estimée respectivement à 95 g/j et 77 g/j [4]. Ainsi, une importante quantité de ces fruits sont perdus dans les champs et sur les lieux de vente par manque de moyen de conservation adéquat et surtout de transformation. En effet leur forte teneur en eau les rend vulnérables face aux agents physico-chimique et biologique de dégradation [1]. Ils ne peuvent donc être gardés à l'état frais seulement quelques jours à cause de leur haute périssabilité [5]. Ainsi la quantité de produits agricoles perdue après la récolte, particulièrement celle des fruits avoisine 42%, faute de technologies appropriées de conservation [6].

Les fruits représentent la partie de la plante qui à maturité, contiennent le plus souvent des graines [7], et se différencient des légumes par leur aptitude à être consommés à l'état cru, leur richesse en sucre, leur acidité plus ou moins élevée et leur arôme prononcé [8]. Les fruits et légumes sont bénéfiques pour la santé, car fournissent à l'organisme les micronutriments nécessaires à son bon fonctionnement, le protège contre les maladies chronique (maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et métaboliques (diabète), les cancers) et enfin offre un contenu énergétique faible, un point qui devient très crucial de nos jours avec le développement rapide du surpoids et de l'obésité. Qu'ils soient frais, en conserve ou surgelés, les fruits et légumes sont la source quasi exclusive de vitamine pour l'organisme humain [9]. Des études réalisées en épidémiologie révèlent qu'une faible consommation des fruits et légumes accroît les risques d'apparition des maladies chroniques [10]. C'est à ce titre que le sommet de Yaoundé 2007 pour la promotion de la filière fruits et légumes en Afrique francophone, recommande à la recherche la mise au point et la vulgarisation de technologies améliorées de conservation des fruits et légumes afin de faciliter leur consommation [11].

Malgré ce sommet, le régime alimentaire des populations béninoises est déficient en vitamines et minéraux et seule la consommation des fruits et légumes pourrait constituer le moyen efficace pour éviter les carences nutritionnelles et prévenir les maladies chroniques [3].

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail qui propose comme méthodes de conservation, un cocktail à base de l'ananas, l'orange et de la carotte.

L'objectif général de l'étude est la mise au point d'une technologie de production de cocktail à base de l'ananas, de l'orange et de la carotte d'origine collectés au Bénin.

2 CADRE DE L'ÉTUDE

Les essais de production ont été effectués au Centre Lumière Divine sis à Godomey dans la commune d'Abomey-Calavi (Latitude 6.45, Longitude 2.35 6° 27' 0" Nord et 2° 21' 0" Est). Les analyses ont été effectuées dans les différents laboratoires du Département de Génie de Technologie Alimentaire de l'École Polytechnique d'Abomey-calavi (EPAC/UAC).

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de deux fruits et un légume à savoir:

Ananas (*Ananas comosus*), Orange (*Citrus sinensis*) et de la carotte (*Daucus carota*).

3.2 APPROVISIONNEMENT EN MATIÈRE PREMIÈRE

L'ananas en provenance de la commune d'Allada, l'orange en provenance de la commune de Kouékanmè et les carottes en provenance d'un site de maraichage dans la commune de Cotonou ont été achetés au marché Dantokpa de Cotonou.

3.3 PLAN DE MÉLANGE

Les proportions de jus brut d'ananas, d'orange, de carotte mélangées pour obtenir les cocktails ont été déterminées grâce à un plan de mélange effectué dans Mini tab16 et présenté dans le tableau suivant.

Tableau 1. Plan de mélange

	Témoins			E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
	1	2	3				
A: jus brut d'ananas	1	0	0	0,3333	0,1667	0,6667	0,1667
B: jus brut d'orange	0	1	0	0,3333	0,6667	0,1667	0,1667
C: jus brut de carotte	0	0	1	0,3333	0,1667	0,1667	0,6667

E1, E2, E3, E4: dénominations respectives des différents échantillons en fonction des proportions de jus brut mélangées.

3.4 TECHNOLOGIE DE PRODUCTION DES DIFFÉRENTS COCKTAILS

La production des différents cocktails a été faite suivant le diagramme ci-après:

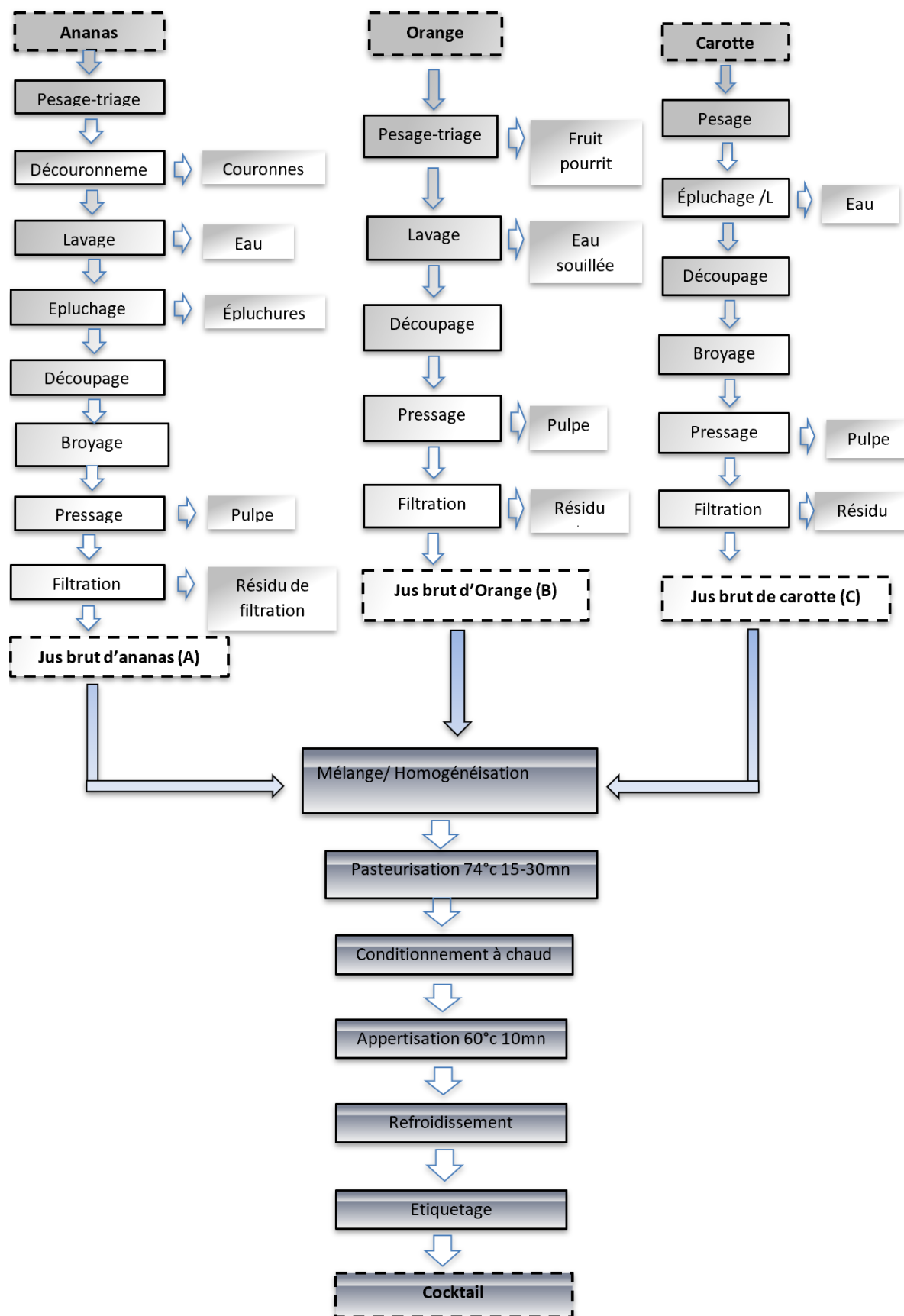


Fig. 1. Diagramme technologique de production des cocktails

3.5 MÉTHODES D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Les analyses microbiologiques ont porté sur le dénombrement des germes aérobies mésophiles [12], des levures et moisissures [13], coliformes totaux [14], des coliformes fécaux [15], *staphylococcus aureus* [16] et des anaérobies sulfito-réducteurs [17].

3.6 MÉTHODES D'ANALYSES SENSORIELLES

Afin d'évaluer les caractéristiques sensorielles des échantillons, un panel de 50 dégustateurs a été constitué. Les paramètres tels que le goût sucré, le goût acide, l'arôme, la couleur et l'appréciation globale ont été évalués à l'aide d'une fiche de dégustation.

3.7 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES

Le pH, l'acidité titrable et la matière sèche ont été déterminés à l'aide des méthodes AOAC [18]. Pour le pH, après calibrage avec les solutions tampons, on prélève 10mL de chaque cocktail dans lequel on plonge l'électrode afin de lire le pH. L'acidité titrable a été déterminée par dosage acido-basique. La Matière sèche quant à elle a été déterminée séchage à l'étuve alors que la teneur en cendres a été évaluée après incinération au four. Le degré (°Brix) quant à lui a été obtenu à 20 °C au moyen d'un réfractomètre portatif (Refractometer FG-113 Brix/ATC 0-32%).

3.8 ANALYSES NUTRITIONNELLES

La caractérisation de la valeur nutritionnelle a pris en compte les dosages de la vitamine C et des sels minéraux.

La vitamine C a été déterminée par titration à l'iode [19]. Pour ce, l'acide ascorbique est oxydé par une solution de diiode en excès. Le diiode restant est dosé par une solution de thiosulfate de sodium.

Le calcium, le potassium et le magnésium ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique [20].

3.9 ANALYSES STATISTIQUES

Les données issues des analyses ont été résumées à l'aide d'estimateurs tels que la moyenne et les écart-types puis récapitulées sous forme de tableaux, de diagrammes et d'histogrammes grâce au logiciel Microsoft Excel 2010. Les corrélations entre les différentes caractéristiques organoleptiques ont été appréciées à l'aide d'une analyse en composante principale (ACP) réalisée dans le logiciel Minitab16.

4 RÉSULTATS

4.1 PRODUCTION

En suivant le diagramme de la figure 1 et en respectant le plan de mélange du tableau 1, nous avons obtenu quatre types de cocktails (E1, E2, E3 et E4).

Le procédé de production de cocktails résulte de la fusion des procédés de production de jus d'ananas, d'orange et de carotte. Cette fusion est intervenue juste après la filtration des trois jus brut (jus d'ananas, d'orange et de carotte). La formulation est réalisée après la filtration puisque les trois jus bruts mélangés sont faciles à homogénéiser. Les principales opérations unitaires du procédé sont: le broyage, le pressage, la filtration, la pasteurisation, et l'appertisation.

4.2 ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Le tableau 2 présente le profil microbiologique des différents échantillons de cocktails. D'après ce tableau, les échantillons sont caractérisés par une absence totale de coliformes totaux, thermotolérants, de *Staphylococcus aureus* et des anaérobies sulfito-réducteurs. On note également la présence de la flore aérobie mésophile totale dans les différentes formulations. Il a été dénombré en moyenne un nombre inférieur 10^2 UFC/ml dans tous les échantillons.

Tableau 2. Récapitulatif des résultats d'analyses microbiologiques

	Bactéries sulfito-réductrices	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	<i>S. aureus</i>	Levure	Moisissure	Flore totale
E1	Abs	Abs	Abs	Abs	3	1	>300
E2	Abs	Abs	Abs	Abs	6	3	>300
E3	Abs	Abs	Abs	Abs	1	Abs	>300
E4	Abs	Abs	Abs	Abs	8	Abs	>300
Normes en UFC/g codex 1984	-	10		10	2.10 ² 10 ²		10 ³

Abs: Absent,

-: Non spécifié

4.3 TESTS SENSORIELS

4.3.1 DEGRÉ D'ACCEPTABILITÉ DES ÉCHANTILLONS EN FONCTION DE QUELQUES CRITÈRES ORGANOLEPTIQUES

Les figures 2, 3 et 4 présentent le degré d'acceptabilité des échantillons par rapport à quelques critères organoleptiques.

La figure 2 présente le niveau d'appréciation des échantillons par rapport au goût sucré. Il ressort de l'analyse de cette figure que 62% des dégustateurs ont jugé l'échantillon E3 sucré et 24% l'ont jugé très sucré, tandis que 66%, 64% et 52% des dégustateurs ont jugé respectivement légèrement sucré les échantillons E2, E1 et E4. On en déduit donc que l'échantillon E3 est plus sucré que les autres.

La figure 3 présente le niveau d'appréciation des échantillons par rapport au goût acide. Il ressort de l'analyse de cette figure que 26%, 20%, 12% et 8% ont jugés respectivement les échantillons E2, E4, E1 et E3 acide alors que 44%, 36%, 36% et 2% ont jugés respectivement E3, E1, E4 et E2 non acide. Les 10%, 6%, 2% et 2% ont jugés respectivement E4, E2, E1 et E3 très acide. On en déduit que les échantillons E4 et E2 sont les plus acide avec E2 en tête à cause de sa formulation qui contient plus de jus d'orange.

La figure 4 présente la perception des dégustateurs par rapport à la couleur et à l'arôme des différents échantillons. Il ressort en ressort que 80% des dégustateurs ont appréciée l'échantillon E3 pour sa couleur et 70% pour son arôme. L'échantillon E4 et E2 ont été les moins appréciés respectivement pour leur arôme et couleur.

En considérant les figures, 3 et 4, l'échantillon E3 a été le plus apprécié pour son goût sucré, sa faible acidité, sa couleur et son arôme.

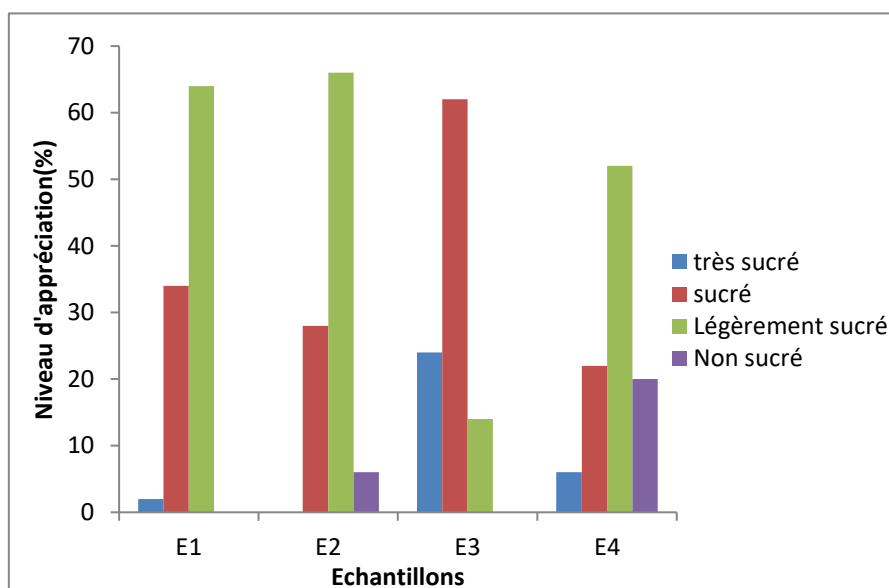


Fig. 2. Degré d'appréciation des échantillons par rapport au goût sucré

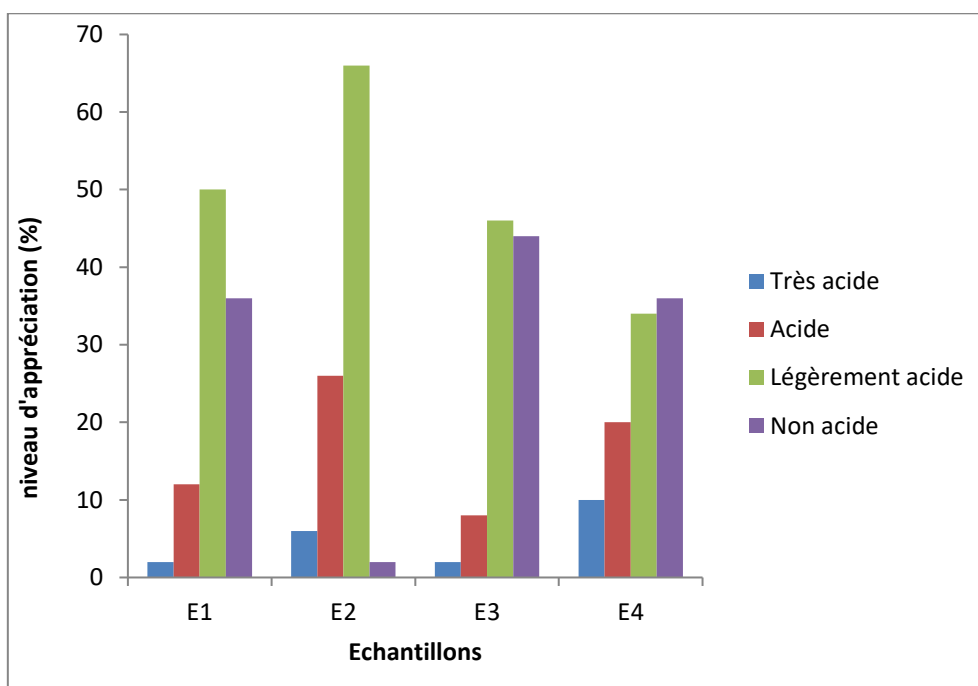


Fig. 3. Degré d'appréciation des échantillons par rapport au goût acide

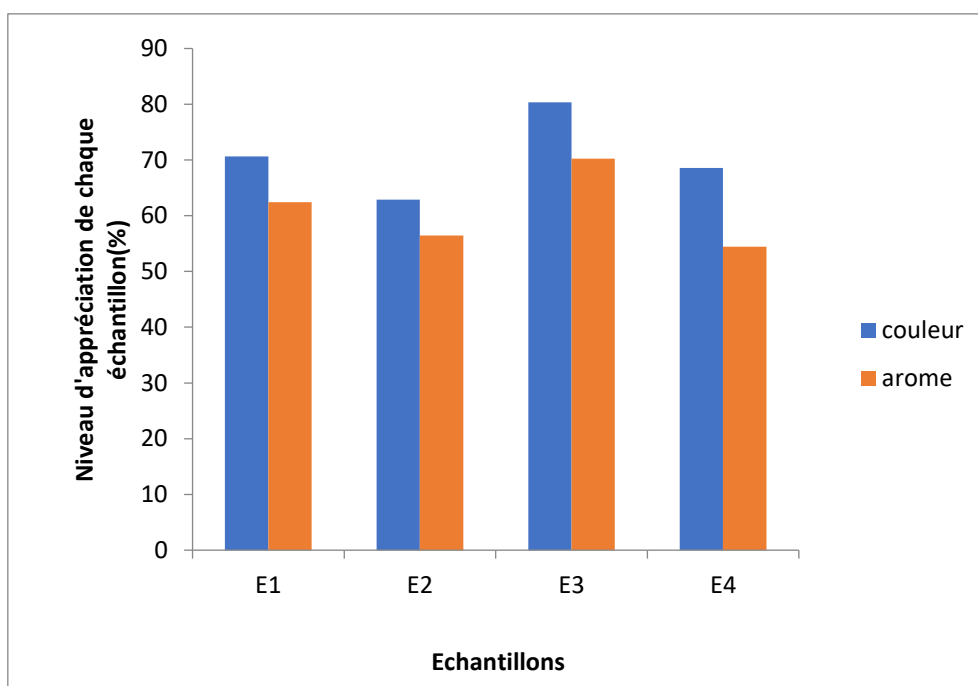


Fig. 4. Degré d'appréciation des échantillons par rapport à la couleur et l'arôme

4.3.2 ACCEPTABILITÉ GLOBALE DES FORMULATIONS PAR LES DÉGUSTATEURS

La figure 5 présente les résultats de l'acceptabilité globale des échantillons par les dégustateurs. Cette figure montre que l'échantillon E3 est le plus accepté par les dégustateurs, avec 66% des points. Ceci est confirmé par son niveau d'appréciation du gout sucré, de sa couleur et de son arôme par les dégustateurs au niveau de la figure 6.

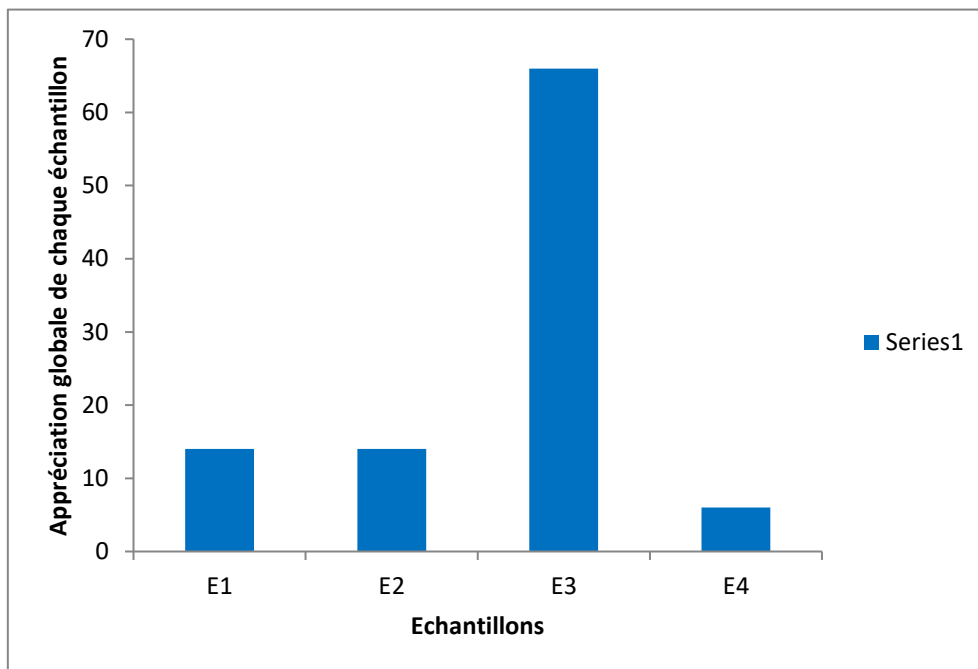
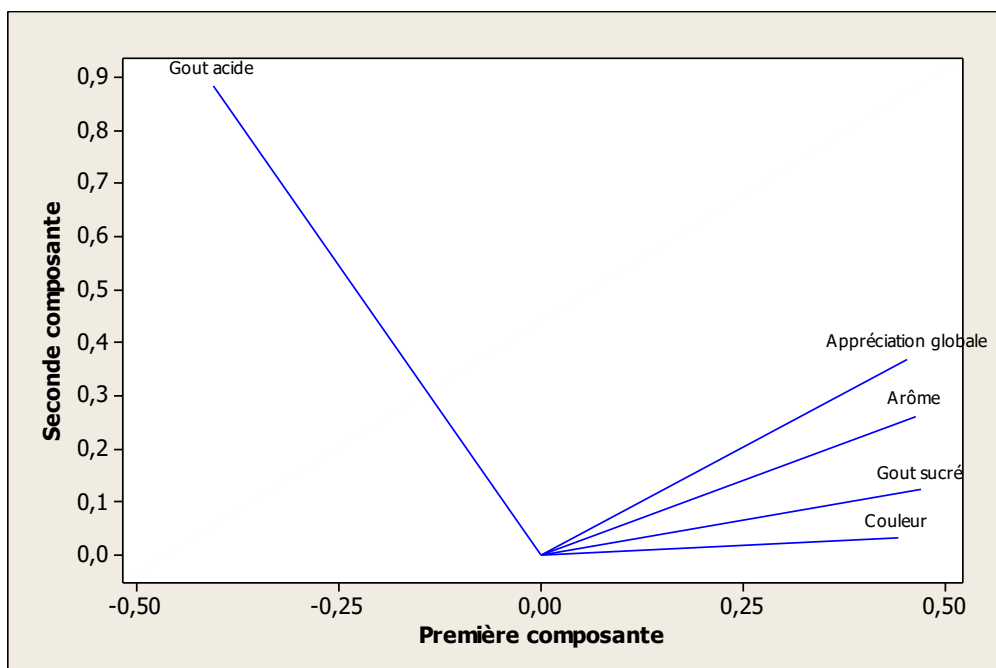


Fig. 5. Appréciation globale des échantillons

4.3.3 CARACTÉRISATION ORGANOLEPTIQUE DES ÉCHANTILLONS

La figure 6 nous présente une caractérisation organoleptique effectuée par l'ensemble des dégustateurs sur chaque échantillon de cocktail.



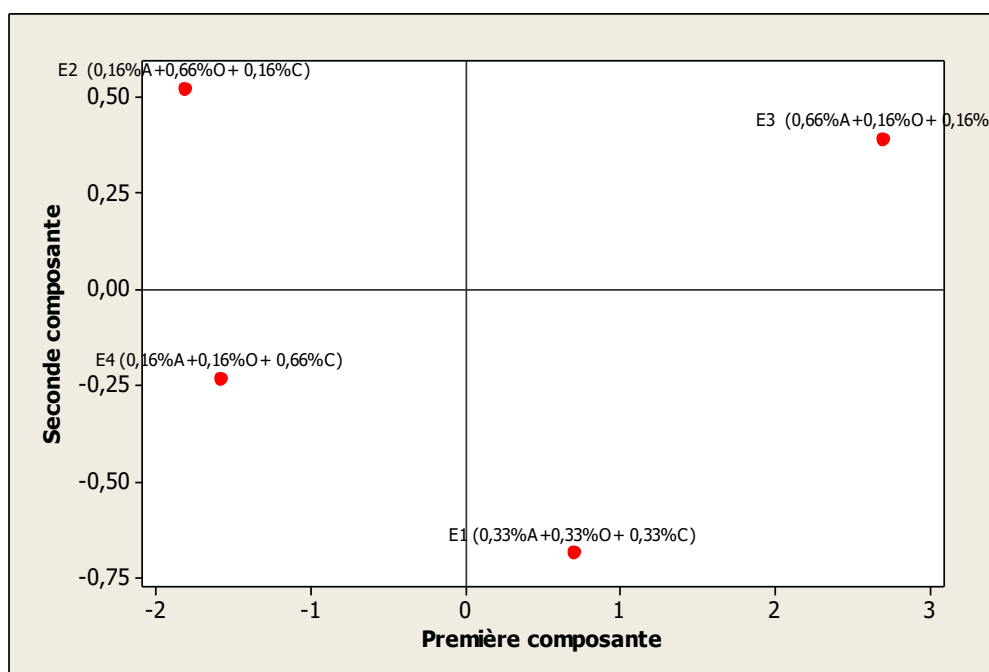


Fig. 6. Caractérisation organoleptique des différents échantillons en analyse en composantes principales

L'analyse des valeurs et vecteurs propres de la matrice de corrélation révèle que:

La première composante permet d'expliquer 90,4% des résultats. Il en ressort que tous les paramètres recherchés sont corrélés (goût sucré, goût acide, couleur, arôme, l'appréciation globale). Le goût sucré, la couleur, l'arôme et l'appréciation globale sont corrélés positivement. Tandis que le goût acide est corrélé négativement à tous les autres paramètres.

L'échantillon E3 (0,66%A+0,16%O+ 0,16%C) a été le mieux apprécié. Il est accepté pour son goût sucré, sa couleur et son arôme. L'échantillon E2 (0,16%A+0,66%O+ 0,16%C) semble présenter une forte acidité pouvant expliquer son rejet par les dégustateurs. Ainsi, l'échantillon E3 étant le plus apprécié a donc été le seul ayant subi le reste des analyses, à savoir les analyses nutritionnelles et physico-chimiques.

4.4 CARACTÉRISATIONS PHYSICOCHIMIQUES

Il ressort de l'analyse du tableau 3 que l'échantillon E3 a un pH de $5,10 \pm 0,3$ avec une acidité titrable de $3,49 \pm 0,29$ (g/L), un degré Brix de 13, une matière sèche de 26,30% et une teneur en cendre de 0,03%. La valeur du pH et de l'acidité titrable fait de ce cocktail un milieu acide où se développeraient moins de microorganismes.

Tableau 3. Paramètres physicochimiques

Paramètres Échantillons	pH	Degré Brix	Acidité Titrable (g/L)	Teneur en eau (%)	Matière Sèche (%)	Teneur en Cendre (%)
Cocktail E3	$5,10 \pm 0,3$	13,00	$3,49 \pm 0,29$	73,69	26,30	0,03
VN	$<5,7^b$	$<20^a$	-	-	$\geq 13,5^b$	-

DB: degré brix AT: acidité titrable TH: taux d'humidité MS: matière sèche TC: teneur en cendre VN: Valeur normative a: Codex STAN 161-1989 b: FAO/OMS 1981, -: Non normalisé

4.5 CARACTÉRISATION NUTRITIONNELLE

Le tableau 4 révèle la richesse en minéraux des différents jus de fruit mélangés. Il en ressort que le mélange des trois jus à augmenter les teneurs en minéraux tels que le potassium, le calcium et le magnésium. Il est donc plus profitable de prendre les trois jus de fruits mélangés que de les prendre séparément. Avec le cocktail produit, les besoins en potassium sont donc largement couverts pour un adulte.

Tableau 4. Les minéraux

Échantillons	Minéraux en mg/Kg		
	Potassium	Calcium	Magnésium
Jus d'ananas	1003.477	231.065	211.338
Jus d'orange	846.112	124.709	98.048
Jus de carotte	1200.104	228.061	121.488
Cocktail E3	1105.665	219.093	160.437

5 DISCUSSION

Le profil microbiologique (tableau 2) a révélé l'absence des coliformes thermotolérants, des *Staphylococcus aureus* des anaérobies sulfito-réducteurs de tous les échantillons. Cela témoigne de bonnes conditions d'hygiène au cours de la production. Par contre, les levures et les moisissures étaient présentes dans tous les échantillons et leur présence pourrait être expliquée par le caractère osmophile des échantillons. Par ailleurs, les nombres de levures, de moisissures dénombrées par millilitre étaient largement inférieurs aux critères de référence. Il a été également noté la présence de la flore aérobie mésophile totale dans les différentes formulations. On en dénombre en moyenne un nombre inférieur 10^2 UFC/ml dans tous les échantillons. Comparativement aux valeurs de la norme de référence, les résultats témoignent d'une qualité microbiologique satisfaisante des différents échantillons et donc de leur acceptabilité pour une consommation saine. Les résultats des analyses microbiologiques obtenus ont semblé à ceux obtenus par [21] sur un cocktail à base d'ananas et pastèque où on note une absence totale des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, de *Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus* et aux travaux de [22] sur un cocktail à base d'orange, de pomme, de citron, de carotte et de concombre, qui ont obtenu une absence des germes anaérobies sulfite réducteurs.

Les résultats des tests organoleptiques ont révélé que le cocktail E3 (2v jus d'ananas+1v jus de carotte+1v jus d'orange) a été le plus apprécié pour sa couleur, son goût et arôme. La valeur du pH et celle de l'acidité titrable font de ce cocktail un milieu acide qui limite l'activité microbienne. Ceci justifie le profil microbiologique du cocktail retenu. Les valeurs de Bri, du pH et de l'acidité titrable sont supérieures à celles obtenus par [12] sur un cocktail à base d'orange, de pomme, de citron, de carotte et de concombre. Ces valeurs sont respectivement de 10,8%, 2,92% et 0,66g/L. Ces résultats peuvent être expliqués par la présence du citron qui est un fruit très acide. La valeur de la matière sèche est supérieure à celles obtenue par Houénou et Guivi [21] sur différentes formulations de cocktail à base d'ananas et de pastèque. Ces valeurs sont comprises entre 4 et 12%.

L'échantillon E3 contient 6,923mg/100g de Vit C. Ce faible taux peut être expliqué par le fait qu'après la production, les échantillons étaient gardés à température ambiante ou par les divers traitements thermiques subis par cet échantillon. Ce taux de vitamine est faible par rapport à celui obtenu par Abbas et Khoudi [22] qui était de 44 mg/L dans un cocktail à base d'Orange, Pomme, citron, Carotte et Concombre. Selon ce même auteur, la vitamine C se dégrade rapidement à la température ambiante et à la lumière ceci peut être expliqué par le phénomène de la photochimie.

Quant aux sels minéraux, le mélange des trois jus à augmenter leur teneur dans le cocktail. Cela montre à suffisance que le cocktail est plus bénéfique au plan nutritionnel.

6 CONCLUSION

Le Bénin regorge d'une quantité importante de fruits et légumes diversifiés mais valorisés à cause des pertes post-récoltes dues au manque de moyens adéquats de conservation. Dans cette étude nous avons proposé leur valorisation à travers la mise au point d'un cocktail à base d'ananas, d'orange et de carotte. Ainsi quatre échantillons ont été formulés et soumis aux analyses microbiologiques et sensorielles. Il en est ressorti que la formule: 2 volumes de jus d'ananas et 1 volume de jus d'orange et volumes de jus de carotte est la mieux appréciée par les dégustateurs. Cette formulation a été ensuite soumise aux analyses physicochimiques et nutritionnelles qui ont permis de mettre en évidence ses caractéristiques exceptionnelles.

REFERENCES

- [1] Tchibozo A., (2009), Mise au point d'une technologie de production d'un cocktail de fruit: cas de la papaye et de l'ananas. Mémoire de licence professionnelle de technologie Alimentaire, Université d'Abomey-Calavi Bénin, 36p.
- [2] FAO., (2003), Agrumes, statistiques: agrumes frais et transformés.1p.
- [3] Tossou C.C., Floquet A.B., Sinsin B.A., (2011), Relation entre la production et l'autoconsommation des fruits cultivés sur le plateau d'allada au Bénin, Fruit vol 67 (1).3p.
- [4] Amiot-Carlin M.J., Caillavet F., Causse M., Combris P., Dallongeville J., Padilla M., Renard C., Soler L.G., (2007), Les fruits et légumes dans l'alimentation. Enjeux et déterminants de la consommation. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 80 p.
- [5] Jeannequin, B., Plénet, D., Carlin, F., Chauvin, J. E., & Dosba, F. (2015). Pertes alimentaires dans les filières fruits, légumes et pomme de terre. Innovations Agronomiques, 48, 59-77.
- [6] Martine F., (1993), Transformer les fruits tropicaux. Guide technique. CTA/GRET Ministère français de la coopération – ACCT. Collection Le point sur les technologies, 224 p.
- [7] Papa., (2014), Analyse de la performance des chaînes de valeurs de l'ananas au Bénin, 71p.
- [8] Nout R., Hounhouigan J.D., Boekel V.T., (2008), Les aliments Transformation, conservation et qualité, 90 – 231p.
- [9] Tassadit D., (2010), Amélioration de la conservation des mangues 4eme gamme par application de traitements thermiques et utilisation d'une conservation sous atmosphère modifiée, 56p.
- [10] Gember M., Bouton- Ruault M.C., Hercberg S., Riboli E., Scalbert A., Siess M.H., (2002), Actualités en Cancérologie; Fruits, légumes et cancer. Une synthèse du réseau Nacre, Bull. Cancer 89 (3), 299-312p.
- [11] Ganry J., Le Gouilloux M., (2007), Atelier pour la promotion des fruits et légumes dans les pays francophones. Rapport, 16p.
- [12] NF V08-051, "Food Microbiology. Enumeration of Microorganisms by Counting the Colonies Obtained at 30°C", Routine method, 1999.
- [13] NF V08-059, "Food Microbiology. Enumeration of Yeasts and Molds by Counting Colonies at 25°C", Routine method, 2002.
- [14] NF V08-050, "Food microbiology. Coliform counts by counting the colonies obtained at 30°C", Routine method, 1999.
- [15] NF V 08-060 (avril 2009) Microbiologie des aliments – Dénombrement des coliformes thermotolérants par comptage des colonies obtenues à 44 °C.
- [16] NF EN ISO 6888-1/A1, "Microbiologie des aliments - Méthode horizontale pour le dénombrement des staphylocoques à coagulase positive (*Staphylococcus aureus* et autres espèces) " - Partie 1: technique utilisant le milieu gélosé de Baird-Parker-Amendement 1: inclusion des données de fidélité, 2004.
- [17] NF ISO 15213 (septembre 2003) Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour le dénombrement des bactéries sulfite-réductrices se développant en conditions anaérobies.
- [18] AOAC, "Official methods of analysis" 17th edition Arlington Washington D.C., pp 882-883, 1990.
- [19] AOAC. Methods of analysis of the Association of official Agricultural Chemists, 1971, p. 316. 323.
- [20] Agilent T., (2016), Fundamentals de la Spectroscopie atomique: Hardware, 8p.
- [21] Houenon, Guivi, (2012), Etude comparative du pouvoir conservateur de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* et de l'acide citrique dans la stabilisation d'un cocktail d'ananas et de pastèque, 70p.
- [22] Abbas S., Khoudi A., (2016), Essai de formulation d'une boisson à base de fruits (orange, citron et pomme) et légumes (concombre et carotte). Mémoire de master, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, Algérie, 54p.

Modélisation du couplage du circuit d'écoulement de l'onde de choc de foudre dans le réseau électrique haute tension : Application au poste haute tension 220 KV de Lingwala (Kinshasa)

[Coupling modeling of wave flow circuit of lightning impact in the high voltage electric network : Application in the high voltage 220 KV of Lingwala (Kinshasa)]

Mwanamputu Mbwanzo Clément, Nsongo Timothée, Pasi Bengi Masata André, and Flory Lidinga Mombonda

Institut Supérieur des Techniques Appliquées (ISTA), 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: This publication analyzes the problem of the coupling of lightning and the power transformer in the High Voltage substations of electrical networks during the injection of lightning current to the ground in sites with strong thunderstorm activity, in this case the Democratic Republic of the Congo.

Although the aggressive overvoltage induced by lightning is short-lived, its amplitude and frequency greatly disturb the stability in terms of voltage and the continuity of service of the network, especially in its transport part often exposed to open air.

During the flow of this shock wave to the earth, through the protection devices (surge arrester) and the earth network, the transient impedance of the substation earth electrode varies suddenly depending on the amplitude of the current flow and the nature of the ground, and reveals around it a potential difference called step voltage and touch voltage, due to the distribution of the electric field, which expose the direct environment of the substation to the danger of electrocution and substation equipment against overvoltage.

This publication aims to synthesize the corrector (regulator) which will have to dampen and reject the shock of the flowing current and prevent the potential difference around the earth electrode from reaching deadly values for operators and people residing in the environment close to the substation and facilitated flow through the earth electrode.

KEYWORDS: modeling, coupling, circuit, flow, shock wave, lightning, electrical network.

RESUME: Cette publication analyse la problématique du couplage de la foudre et le transformateur de puissance dans les postes Haute Tension de réseaux électriques lors de l'injection du courant de foudre au sol dans les sites à forte activité orageuse à l'occurrence la République Démocratique du Congo.

Bien que la surtension agressive induite par la foudre soit de courte durée, son amplitude et sa fréquence perturbent fortement la stabilité sur le plan de tension et de la continuité de service du réseau surtout dans sa partie transport souvent exposée à l'air libre.

Lors de l'écoulement de cette onde de choc à la terre, au travers de les organes de protection (parafoudre) et le réseau de terre, l'impédance transitoire de la prise de terre du poste varie brutalement en fonction de l'amplitude du courant écoulé et de la nature du sol, et fait apparaître autour d'elle une différence de potentielle dite tension de pas et tension de toucher, due à la répartition du champ électrique, qui exposent l'environnement direct du poste au danger d'électrocution et des équipements du poste contre la surtension.

Cette publication vise à synthétiser le correcteur (régulateur) qui devra amortir et rejeter le choc du courant écoulé et empêcher que la différence de potentielle autour de la prise de terre n'atteigne pas des valeurs mortelles pour les exploitants et les personnes résidant dans l'environnement proche du poste et facilité l'écoulement à travers la prise de terre.

MOTS-CLEFS: modélisation, couplage, circuit, écoulement, onde de choc, foudre, réseau électrique.

1 INTRODUCTION

La foudre est dangereuse non seulement parce qu'elle risque de tomber directement sur un individu ou une installation, mais aussi parce que, lorsqu'elle tombe au voisinage d'une personne celle-ci peut être électrisée par la tension de pas que la foudre engendre.

Cette tension est liée au fait qu'une source de courant créée en un point d'impact est responsable d'un champ électrique au sol, donc d'une tension, qui varie en fonction de la distance à la source : entre deux points différents en contact avec le sol, séparés d'une distance appelée pas, existe donc une différence de potentiel, ou tension de pas, d'autant plus élevée que le pas est important. Lors d'un foudroiement la tension de pas peut atteindre plusieurs milliers de volts et donc être dangereuse pour le corps humain par suite du courant électrique dont il devient le siège

2 MODÉLISATION DU CIRCUIT D'ÉCOULEMENT DE L'ONDE DE CHOC DU POSTE HT

2.1 MODÈLE DU COURANT DE FOUDRE [1] [2]

L'écoulement d'un courant électrique variable $I(t)$ est la source d'un champ magnétique H qui, à une distance r de la source, conformément à la loi d'**Ampère**, vaut :

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (1)$$

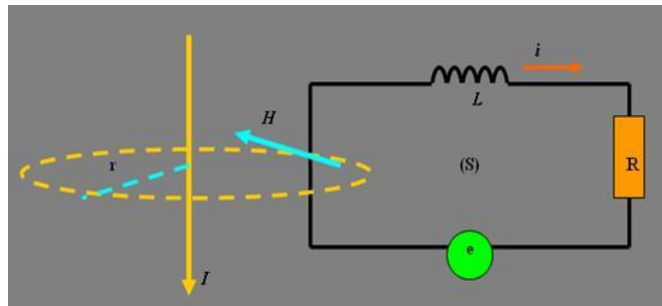


Fig. 1. Principe du couplage inductif

Lorsque ce champ coupe un circuit conducteur fermé, il crée à ses bornes une tension induite e égale au taux de variation dans le temps du flux F du champ H à travers la surface du circuit S selon la loi de **faraday** :

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

Avec : $\phi = \mu HS$

La f.e.m induite devient :

$$e = - \frac{\mu S}{2\pi r} \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

L'équation (3) montre que La tension induite dans le circuit dépend donc du courant perturbateur par l'intermédiaire de di/dt .

Dans le cas d'un éclair situé dans un plan parallèle à la surface considérée, les conséquences du champ électromagnétique perturbateur induisent une tension évaluée selon l'expression [A] :

$$U = \frac{S \mu}{2\pi R} \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (4)$$

Avec :

- S : surface de la boucle en m²,
- R : distance entre l'éclair et la boucle en m,
- μ : Perméabilité du vide
- i : Courant de foudre (A),

D'autre part, La théorie montre et l'expérience le confirme que la forme du courant de décharge de la foudre a une évolution temporelle de la forme [3] :

$$I(t) = I_0 [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)] \quad (5)$$

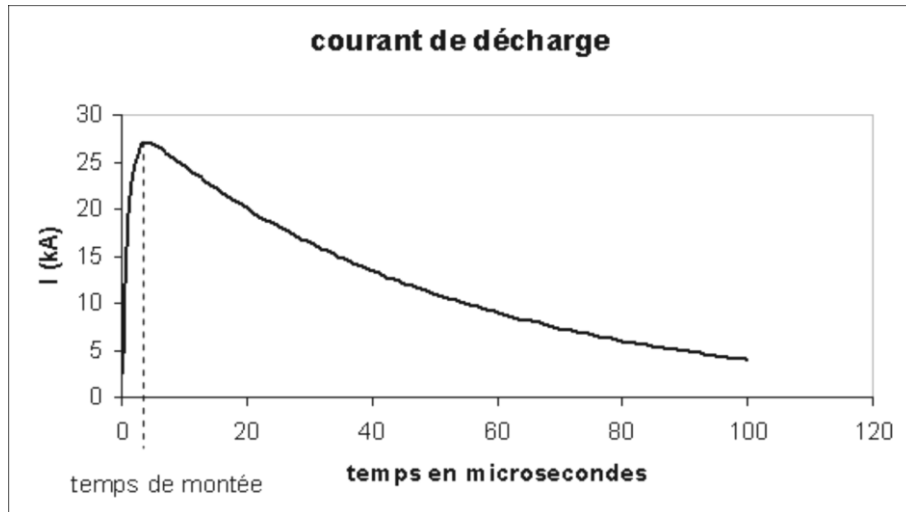


Fig. 2. Allure du courant de foudre

Avec cette loi de l'évolution du courant source, l'équation de Faraday permet de calculer la tension induite dans le circuit :

$$e(t) = -\frac{\mu I_0}{2\pi r} [\beta \exp(-\beta t) - \alpha \exp(-\alpha t)] \quad (6)$$

Les effets du courant de foudre dans le transformateur de puissance peuvent se manifester au primaire ou au secondaire de celui-ci, avec R, L comme paramètres de la branche série, la tension induite dans cette branche peut s'écrire sous la forme :

$$u = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (7)$$

En comparant (5) et (7) on a :

$$Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} = e(t) = -\frac{\mu I_0}{2\pi r} [\beta \exp(-\beta t) - \alpha \exp(-\alpha t)] \quad (8)$$

Après intégration de l'équation (8), on obtient :

$$i(t) = \frac{\mu I_0 S}{2\pi r} \left[\left(\frac{\beta}{R-\beta L} - \frac{\alpha}{R-\alpha L} \right) \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) + \frac{\alpha}{R-\alpha L} \exp(-\alpha t) - \frac{\beta}{R-\beta L} \exp(-\beta t) \right] \quad (9)$$

Pour obtenir la transmittance du courant de la foudre, la comparaison des équations (6) et (8) dans le domaine fréquentiel donne:

$$(R + Ls)I = -\frac{\mu I_0 S}{2\pi r} \left[\beta \frac{1}{s + \beta} - \alpha \frac{1}{s + \alpha} \right] \quad (10)$$

$$I(s) = \frac{\mu I_0 S}{2\pi r L} \left[\frac{\beta(s + \alpha) - \alpha(s + \beta)}{(s + \alpha)(s + \beta)(s + \frac{R}{L})} \right]$$

Pour modéliser le phénomène de couplage, nous considérons le circuit d'écoulement de l'onde de foudre comme un système asservi dont la référence ou la consigne est la tension de pas V_{pco} dans les conditions normales, le courant de foudre i_f comme une entrée secondaire en terme de perturbation et la réponse du système V_{ps} étant la répartition du potentiel autour de la prise de terre du poste HT lors de l'écoulement du courant de foudre au sol.

Sachant que le circuit d'écoulement de l'onde de choc est constitué du fil de garde comme organe de détection, du parafoudre organe de protection et le réseau de terre du poste HT qui est la dernière étape du circuit d'écoulement de l'onde, le transformateur de puissance du poste HT quant à lui, par induction est couplé avec le circuit de l'onde de choc.

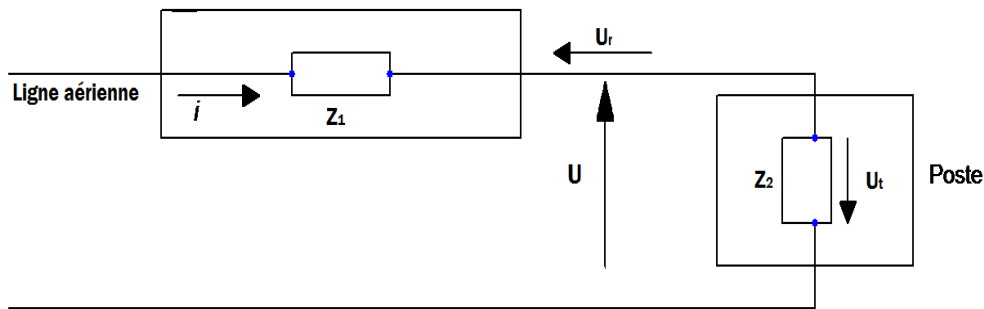


Fig. 3. Principe de la propagation de la surtension de la foudre de la ligne vers le poste HT

Le système ainsi constitué aura comme excitation, le courant de décharge de foudre et comme réponse, la différence de potentiel c.a.d le champ électrique autour de la prise de terre du poste.

2.2 MODÈLE DU FIL DE GARDE [4]

Lorsque la foudre d'intensité i frappe une ligne de garde celle-ci va véhiculer dans une des directions l'intensité $i/2$. Le fil de garde est relié à la terre via un câble d'inductance L traversant le pylône et une résistance en série R de valeur très faible.

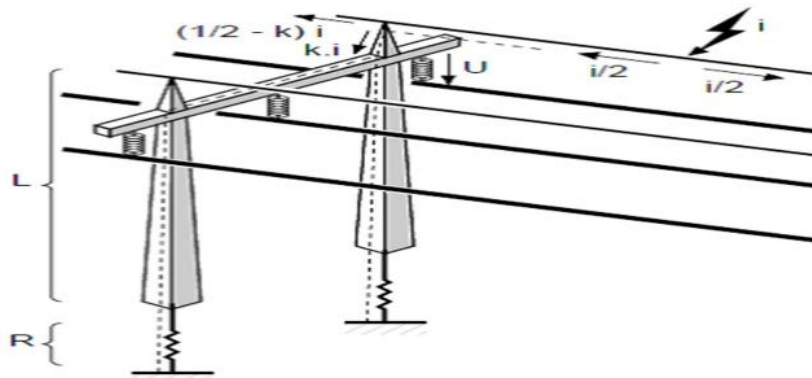


Fig. 4. Coup de foudre tombant sur le câble de garde

La traversée du courant par la liaison à la terre va créer à ses bornes (entre la tête du pylône et la terre) une différence de potentiel U conformément à l'équation (7).

Dans le domaine fréquentiel, cette expression devient, dans les conditions initiales devient

$$U(s) = RI(s) + Ls I(s) - I(0)$$

La fonction de transfert du conducteur de garde devient :

$$F_1(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1}{R + Ls} \quad (11)$$

$F_1(s)$ est le modèle du câble de garde.

Les valeurs numériques de $R=0,07 \Omega$ et $L=1,01 \text{ mH}$ sont données dans le tableau des caractéristiques de la ligne 220 kV du réseau interconnecté Ouest de la SNEL/RDC, tronçon poste de Kimwenza et poste de Liminga en annexe.

$$F_1(s) = \frac{1}{0,07+s} \quad (12)$$

2.3 MODÈLE DU TRANSFORMATEUR DU POSTE HT EN SURTENSION [5]

Pour l'étude du phénomène de surtension transmise au transformateur du poste HT par couplage avec le circuit d'écoulement, on se limite à un schéma équivalent d'un enroulement du côté haute tension conformément à la figure ci-dessous.

En négligeant les résistances des enroulements et la transmission des phénomènes transitoires d'un enroulement à un autre.

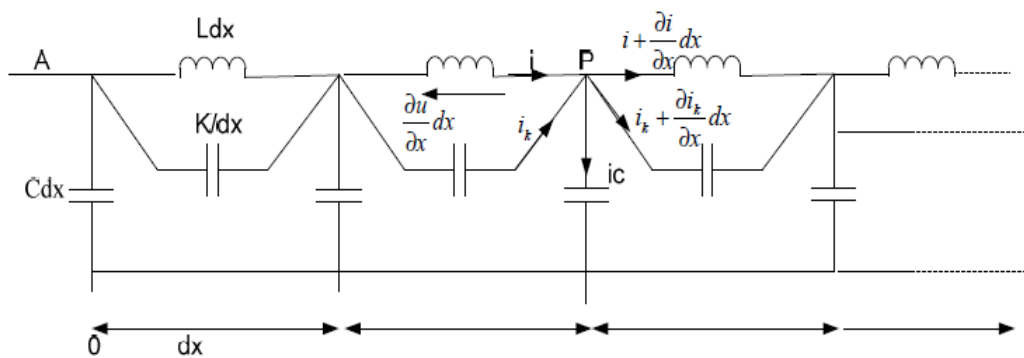


Fig. 5. Schéma équivalent d'une phase du transformateur en surtension

L'application de l'équation de Kirchhoff au nœud P sur la figure 5 donne :

$$i + i_k - \left(i' + \frac{\partial i'}{\partial x} dx\right) - \left(i'_k + \frac{\partial i'_k}{\partial x} dx\right) - ic = 0 \quad (13)$$

D'où :

$$i_c = -\frac{\partial(i' + i'_k)}{\partial x} dx$$

Et que par définition :

$$i_c = -c \frac{\partial u}{\partial t} dx \quad (14)$$

En égalant (13) et (14) donne :

$$\frac{\partial(i' + i'_k)}{\partial x} = -c \frac{\partial u}{\partial t} \quad (15)$$

Sur la capacité $\frac{k}{dx}$ du schéma équivalent ci-dessus on a la relation :

$$i_k = -\frac{k}{dx} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} dx \quad (16)$$

D'où :

$$i_k = -c \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}$$

$$\frac{\partial i_k}{\partial x} = -c \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (17)$$

Sur l'inductance L, on a comme relation :

$$\frac{\partial u}{\partial x} dx = -L dx \frac{\partial i}{\partial t}$$

D'où :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L \frac{\partial i}{\partial t} \text{ et } \frac{\partial i}{\partial t} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u}{\partial x} \quad (18)$$

La multipliant le dernier terme de l'équation (18) par $\frac{\partial t}{\partial x}$, donne

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u \partial t}{\partial x^2} \quad (19)$$

(17) + (19) donne :

$$\frac{\partial(i+i_k)}{\partial x} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u \partial t}{\partial x^2} - c \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (20)$$

Posons : $i + i_k = i_a$

et multiplions les deux membres de (20) par $\frac{\partial x}{\partial t}$

On obtient :

$$\frac{\partial i_a}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u \partial t}{\partial x^2} \frac{\partial x}{\partial t} - c \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \frac{\partial x}{\partial t} \text{ et } \frac{\partial i_a}{\partial t} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u}{\partial x} - c \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \frac{\partial u}{\partial x}$$

Sachant que :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x}, \text{ on a : } \frac{\partial i_a}{\partial t} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x} - c \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x}$$

$\frac{\partial x}{\partial t}$ étant la vitesse de propagation de la surtension dans le transformateur V.

On a :

$$\frac{\partial i_a}{\partial t} = -\frac{1}{V} \left[\frac{1}{L} \frac{\partial u}{\partial t} + c \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} \right] \text{ et } V \frac{\partial i_a}{\partial t} = -\frac{1}{L} \frac{\partial u}{\partial t} - c \frac{\partial^3 u}{\partial t^3}$$

En régime fréquentiel, l'équation ci-dessous devient : $VsI_a(s) = -\frac{1}{L}sU(s) - cs^3U(s)$

$$F_2(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{-V}{\frac{1}{L} + cs^2} \quad (21)$$

$F_2(s)$ est le modèle du transformateur de puissance en surtension. Les valeurs numériques de L et C sont obtenues lors de l'essai à vide du transformateur ; ce qui est pratiquement difficile pour un transformateur opérationnel. Dans ces conditions, nous retenons les ordres de grandeurs suivants, valables pour des transformateurs de réseaux HT et THT selon le J.-L. Lilien dans son cours de transport et distribution de l'énergie électrique 1999/2000 ; $Ru, pu = 0,01 pu$; $Xu, pu = 0,04$ à $0,18$; ; $X_L = 0,1$ à $0,2$

La fonction de transfert du transformateur lors de la surtension devient :

$$F_2(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{-V}{\frac{1}{0,2} + 0,04 s^2} \quad (22)$$

V est la vitesse de l'onde de surtension dans le tr avec une atténuation quasiment faible :

$$(v = 3.10^8 \text{ m/s})$$

2.4 MODÈLE DE LA RÉSISTANCE NON LINÉAIRE (R_Z) DES ÉLÉMENTS DU PARAFoudre À OXYDE DE ZINC (ZnO) [6]

Le comportement de la résistance non-linéaire des éléments varistance ZnO est représenté par une expression de courant en fonction de tension ($V=F(I)$), extraite dans la caractéristique tension-courant du parafoudre.

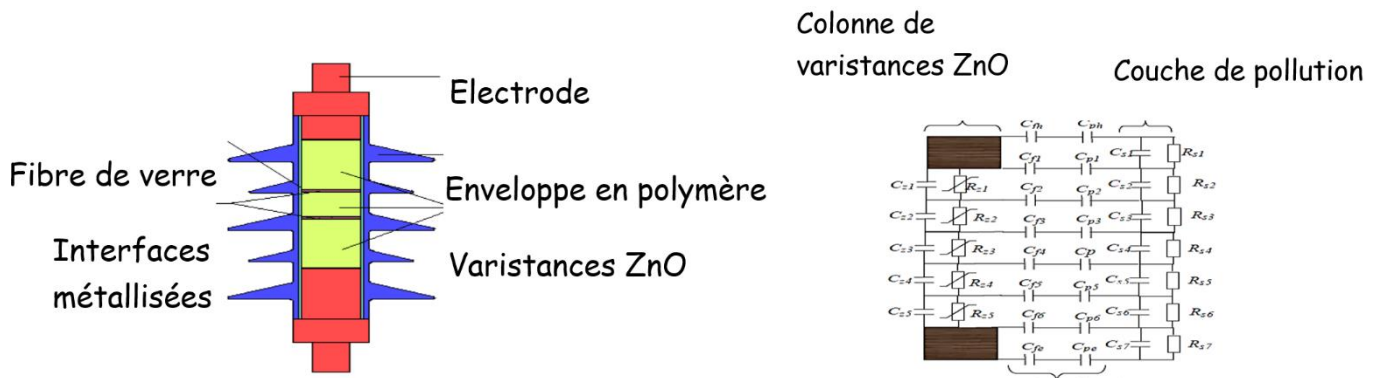


Fig. 6. Modèle et schéma équivalent du parafoudre à oxyde de Zinc utilisé dans les postes HT

Le comportement non-linéaire des éléments ZnO du parafoudre peut être représenté par l'expression suivante :

$$I = K_1 V^{\alpha_1} + K_2 V^{\alpha_2} \quad (23)$$

Avec :

I : Courant en mA

V : Tension en kV

α : Coefficient de non linéarité de varistances du parafoudre : $30 < \alpha < 100$

K : Constante diélectrique de matériaux propre au parafoudre : $K_1=K_2=100$

En généralisant, on obtient :

$$I = K V^{\alpha}$$

Les valeurs numériques de α et K étant très grand, nous pouvons linéariser cette expression conformément à la caractéristique du parafoudre ci-dessous dans la zone située entre Up et Uc respectivement : tension d'amorçage (niveau de protection) et tension de consigne du parafoudre (tension maximale de service permanent).

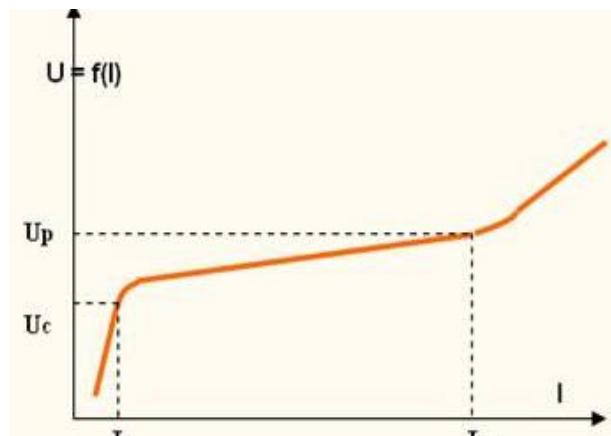


Fig. 7. Caractéristique $U=f(I)$ de la varistance

Dans cette zone linéaire comprise entre U_c et U_p , la caractéristique prend la forme : $y = ax$

La caractéristique ci-dessus permet d'écrire :

$$I = KV$$

Avec : $K = \frac{U_p - U_c}{I_c - I_n}$ étant la pente de la droite et V une différence de potentiel

On peut donc écrire :

$$i(t) = K \frac{dv}{dt} \quad (24)$$

En fréquentiel, on a :

$$I(s) = \frac{K}{s} U(s)$$

$$F_3(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{K}{s} \quad (25)$$

Pour la protection des transformateurs HT contre les chocs de la foudre, les constructeurs (ABB, Schneider, Legrand, etc...) donnent les valeurs de U_c , U_p , I_c et I_n .

A cet effet, pour l'exploitation des postes HT 220 kV on a : niveau d'isolement : 1050 kV ; U_p : 245 kV ; U_c : 225 kV ; I_n : 20 kA ; I_c : 100 kA, le coefficient K devient :

$$K = \frac{U_p - U_c}{I_c - I_n} = \frac{245 - 225}{100 - 20} = 0,25$$

Finalement, la fonction de transfert moyennant les hypothèses évoquées ci-dessus devient :

$$F_3(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{0,25}{s} \quad (26)$$

$F_3(s)$ est le modèle du parafoudre

2.5 MODÈLE DU RÉSEAU DE TERRE DU POSTE HT [7]

Dans un réseau de transmission de l'énergie électrique doté de lignes et postes HT, les mises à la terre sont réalisées sous plusieurs formes :

- Systèmes de mise à la terre simple, électrode simple.
- Systèmes de mise à la terre complexes, telles que les grilles de terre importante des poste ht

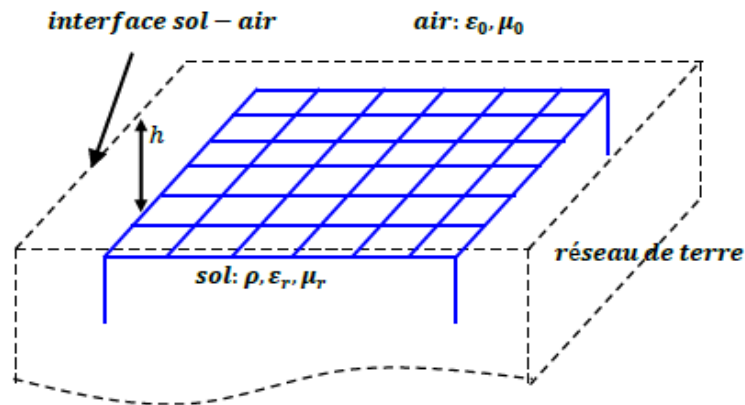


Fig. 8. Grille de mise à la terre du poste HT

Du point de vue théorique, plusieurs modèles numériques ont été développés pour l'analyse transitoire des systèmes de mise à la terre parmi lesquels nous avons:

- Modèle des circuits équivalents ;
- Modèle hybride ;
- Modèle des lignes de transmission ;
- Modèle électromagnétique ;
- Méthode des éléments finis ;
- Méthode des moments.

Lors de l'écoulement du courant de foudre au sol, on observe une répartition de la différence de potentielle autour de la prise de terre due à la propagation du champ électrique conformément à la théorie de Maxwell- Gauss.

De ce qui précède, la grille de mise à la terre du poste est assimilée à une ligne de transmission caractérisée par une grandeur d'entrée (le courant de foudre) et une grandeur de sortie (la différence de potentielle autour de la prise de terre).

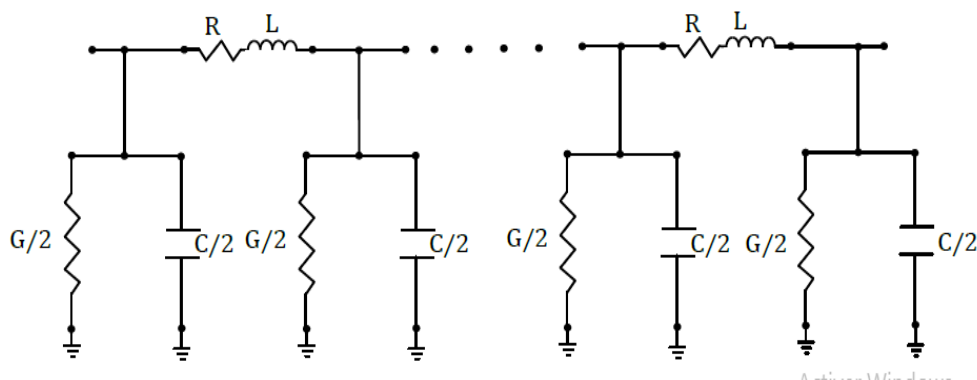


Fig. 9. Modèle des lignes de transmission

La modélisation de la propagation du courant de foudre à travers la grille de mise à la terre doit donc utiliser une description de la ligne de transmission par constantes réparties grâce aux expressions suivantes :

$$\frac{\partial i}{\partial t} = Gu(x, t) + C \frac{\partial u}{\partial t} \quad (27)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = Ri(x, t) + L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (28)$$

Hypothèse :

Le réseau de terre de postes HT étant local et de faibles dimensions, nous pouvons admettre que l'écoulement du courant dans sol se fait principalement par les éléments transversaux ; le courant et la répartition du potentiel autour de la prise de terre sont faiblement liés à la variable x.

Ainsi :

Seule l'équation (29) et la variable temps sont prises en compte. L'expression (28) devient :

$$\frac{\partial i}{\partial t} = Gu(t) + C \frac{\partial u}{\partial t}$$

La transformée de Laplace donne :

$$sI(s) = GU(s) + CsU(s)$$

$$F_4(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{s}{G+Cs} \quad (29)$$

$F_4(s)$ est le modèle de la grille de mise à la terre du poste HT

G et C sont les paramètres transversaux du réseau interconnecté (grille de mise à la terre du poste) dont les valeurs numériques sont obtenues par des hypothèses suivantes :

- Le sol est homogène et ses paramètres caractéristiques ε, μ et ρ sont des constantes ;
- Les armatures du condensateur ainsi formé sont les différentes couches du sol et la grille de mise à la terre.

Dans la réalisation du réseau de terre des postes HT, quelques valeurs standards sont recommandées par les normes (NFC 13-100 et NFC 11-200, CEI61140, IEEE80-2000) :

- Dimensions de la grille de mise à la terre, série GTC-25/4 sont : 2,50x0,4m (conformément à la norme)
- Caractéristiques du sol [8] : $h \leq 1\text{mm}$; $\varepsilon_r = 5$; $\mu_r = 1$ et $\rho = 10 \Omega m$

Ces paramètres permettent de définir la permittivité et la perméabilité relative (ε_r, μ_r) par rapport à leur valeur dans le vide:

– $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ est la permittivité relative

Et $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ est la perméabilité magnétique relative

ε_r et μ_r sont les permittivité et perméabilité correspondantes du sol.

Dans la majorité de cas, on considère $\mu = \mu_0$; pour $\mu_r = 1$.

✓ Pour la résistance de la prise de terre du poste, on a :

$$R = \frac{\rho}{4r} \text{ et } r = \sqrt{\frac{ab}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,50 \times 0,4}{3,14}} = 0,56 \text{ et } R = \frac{10}{4 \times 0,56} = \frac{10}{2,24} = 4,4 \Omega$$

Cette valeur est acceptable conformément à la norme et donne lieu à grande performance de la prise de terre ($R < 10 \Omega$); a et b sont respectivement la longueur et la largeur de la grille

La conductance G devient : $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{3,5} = 0,28 \Omega^{-1}$

✓ Pour la capacité du circuit de terre

Considérant que la grille de mise à la terre et les différentes couches que constitue le sol forment un condensateur plan, la capacité de ce dernier devient :

$$C = \varepsilon \frac{S}{a} \text{ et } \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r = 5 \times 8,85 \times 10^{-12} = 44,25 \times 10^{-12}$$

$S = \text{surface des armatures} = 2,50 \times 0,4 = 1 \text{ m}^2$

S'agissant de la profondeur entre la grille de mise à la terre et la première couche du sol qui correspond aux remblais sableux pollués, aux déchets industriels hétérogènes et aux dépôts argileux alluviaux, situés entre la surface est de 2 à 4 m.

$$C = \varepsilon \frac{S}{a} = 44,25 \times 10^{-12} \times \frac{1}{4} = 11 \times 10^{-12} \text{ F} = 11 \text{ pF}$$

Les valeurs numériques de G et C de la fonction de transfert du réseau de terre étant déterminées, nous pouvons écrire :

$$F_4(s) = \frac{s}{0,28 + 0,01s} \quad (30)$$

Considérant que :

- $V_{pe} \leq 50 \text{ V}$ tension de pas d'entrée (consigne ou tension de référence)
- $i_p(t) = I_0 [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)]$: courant de foudre : la perturbation au système

Par expérimentation, l'ordre de grandeur des paramètres du courant de décharge selon la publication de *Frédéric ELIE* « Foudre et tension de pas novembre 2005 » est de :

$\alpha = 0,02 \mu\text{s}$, $\beta = 1 \mu\text{s}$, pour une amplitude du courant de $I_0 = 30 \text{ kA}$.

Le temps de montée pour atteindre le pic de l'onde est obtenu par :

$t_{\text{montée}} = 1/(-\alpha) \cdot \ln(\beta / \alpha)$, dont l'ordre de grandeur est de :

$$t_m = 2,2 \mu\text{s}.$$

- Câble de garde : $F_1(s) = \frac{1}{0,07 + s}$
- Transformateur : $F_2(s) = \frac{-V}{5 + 0,04s^2} = \frac{310^8}{5 + 0,04s}$
- Parafoudre : $F_3(s) = \frac{0,25}{s}$
- Grille de mise à la terre : $F_4(s) = \frac{s}{0,28 + 0,01s}$

La sortie du système $V_{ps}(s)$: tension de pas désirée lors de l'écoulement du courant de foudre au sol.

Après obtention de toutes les fonctions de transfert des composants du circuit d'écoulement de l'onde de choc du poste HT en couplage avec le transformateur de puissance, le schéma bloc fonctionnel du système devient :

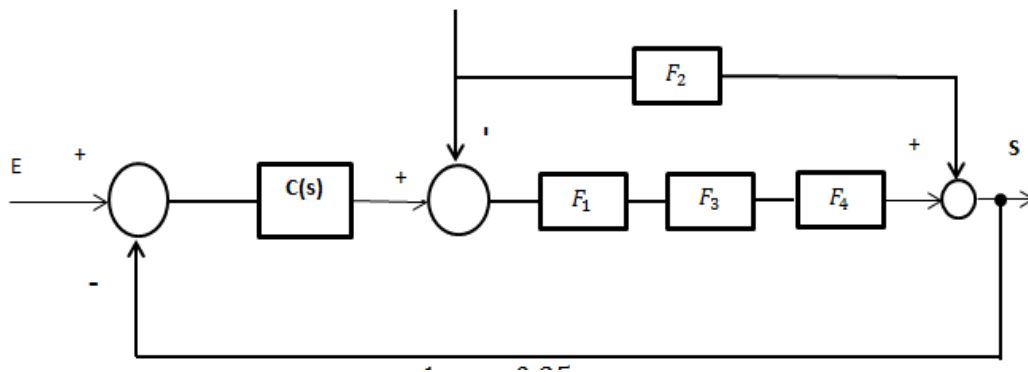


Fig. 10. Bloc fonctionnel du circuit d'écoulement de l'onde de choc

La fonction de transfert $F(s)$ des composants du circuit direct d'écoulement devient :

$$F(s) = F_1 F_2 F_3 = \frac{1}{s + 0,07} \times \frac{0,25}{s} \times \frac{s}{0,01s + 0,28}$$

$$F(s) = \frac{0,25s}{0,01s^3 + 0,2807s^2 + 0,0196s}$$

$$F(s) = \frac{0,25}{0,01s^2 + 0,2807s + 0,0196} \quad (31)$$

$F(s)$ représente l'**impédance transitoire** qui doit agir sur la vitesse d'écoulement du courant de foudre au sol ; ce courant est considéré comme une perturbation au système.

Ci-dessous l'allure de la réponse indicielle de $F(s)$ sous l'action de la perturbation.

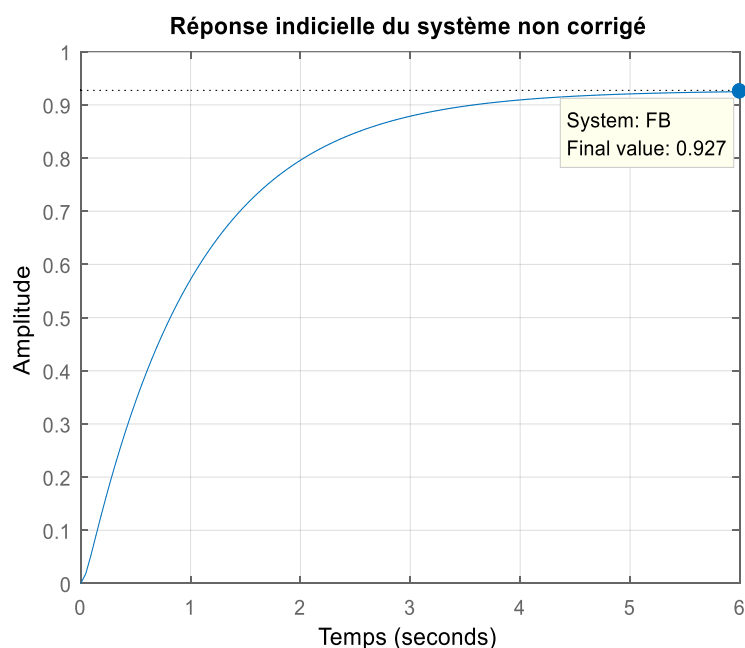


Fig. 11. Réponse du système à une entrée échelon

$F(s)$ présente une erreur de l'ordre de 7% ; il y'a donc intérêt à corriger pour que la sortie soit l'image de l'entrée.

L'insertion du correcteur dans le circuit d'écoulement avec boucle fermée donne lieu au schéma bloc ci-dessous :

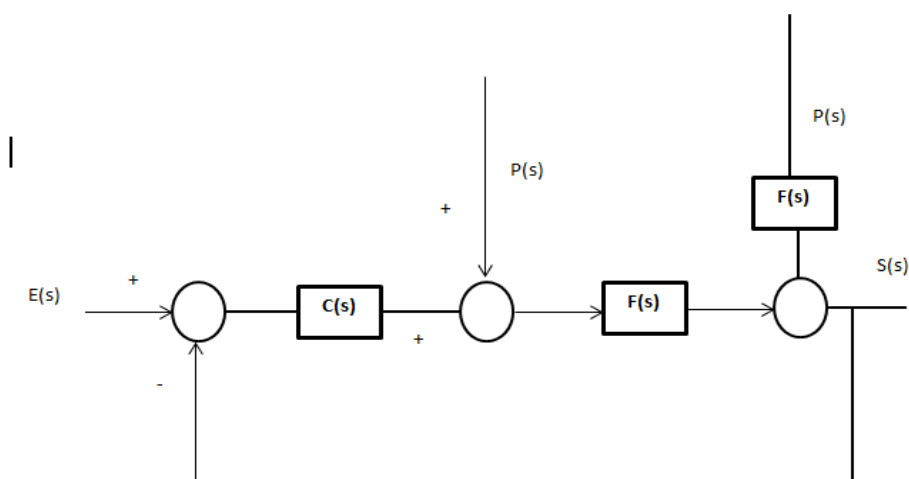


Fig. 12. Schéma bloc du circuit d'écoulement avec insertion du correcteur

La sortie du système boucle fermée tenant compte de la perturbation et de la surtension induite dans le transformateur permet d'écrire :

$$S_{(B)} = \frac{C_{(s)}F_{(s)}}{1 + C_{(s)}F_{(s)}} + \frac{F_{(s)}}{1 + F_{(s)}C_{(s)}} + \frac{F2_{(s)}P_{(s)}}{1 + C_{(s)}F_{(s)}}$$

Face à l'imprécision que présente $F(s)$, il est indispensable de synthétiser dont l'action est de rejeter la perturbation $P(s)$.

SYNTHÈSE DU CORRECTEUR $C(s)$

A boucle fermée $F(s)$, bien que du second ordre, représente deux transmittances du premier ordre en cascade avec un pôle dominant de la forme :

$$F(s) = \frac{0,25}{0,01s^2 + 0,2807s + 0,0196} = \frac{0,25}{(s + 0.996)(s + 27,1)} \cong \frac{0,25}{(s + 1)(s + 27,1)}$$

L'expérience et la théorie soutiennent que le temps de réponse du système du premier ordre vaut $t_r = 3\tau$ or $\tau = 1$ s

$$\frac{Tr_{5\%}}{T_m} = \frac{3\tau}{2,2} = \frac{3}{2,2} = 1,36 \text{ et } t_r = 1,36 \times 2,2 \cong 3\mu s$$

La fonction de transfert du régulateur PID ayant la forme :

$$C(s) = P + \frac{I}{s} + D \frac{N}{1 + \frac{N}{s}} \quad (32)$$

Grace à l'outil numérique Matlab, simulink, la boite à outil « PID tuner » ci-dessous, nous pouvons déterminer les paramètres du correcteur

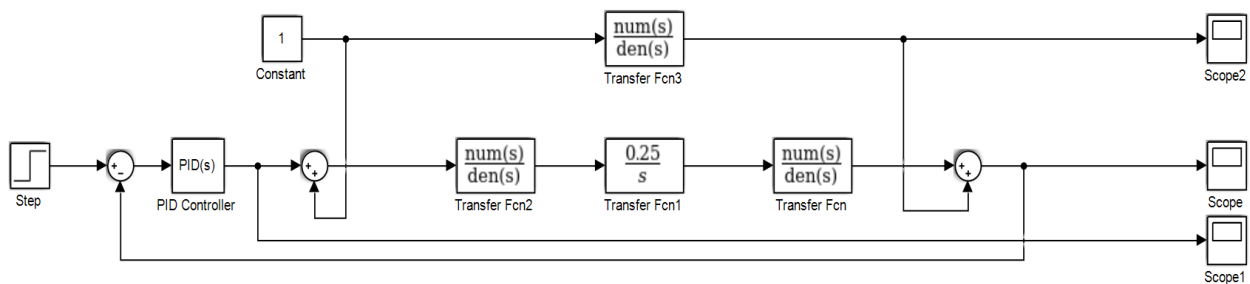


Fig. 13. Modélisation du circuit d'écoulement de l'onde de choc sous environnement matlab simulink

Les résultats de simulation sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1. Résultats de simulation

Controller Parameters	
	Tuned
P	4.3347
I	3.3103
D	-0.30048
N	14.4257
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	0.283 seconds
Settling time	3 seconds
Overshoot	16.3 %
Peak	1.16
Gain margin	19.7 dB @ 19.4 rad/s
Phase margin	57.2 deg @ 3.96 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Les paramètres du correcteur sont :

$$P = 4,3347, I = 3,303, D = -0,30048, N = 14,4257$$

N est un pôle d'adoucissement c.a.d un pôle de compensation du correcteur.

$$C(s) = \frac{U(s)}{\varepsilon(s)} = 4.3347 + \frac{3,3103}{s} - \frac{-0,030048 \times 14,4257}{1 + \frac{14,4257}{s}}$$

$$C(s) = \frac{U(s)}{\varepsilon(s)} = 4.3347 + \frac{3,3103}{s} - \frac{-4,3346s}{s+14,4257} = \frac{-62,2s}{s^2+14,43s}$$

$$C(s) = \frac{U(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{-62,2}{s+14,43} \quad (33)$$

L'expression (34) représente le modèle du correcteur recherché.

Les effets de la correction après simulation sont donnés par les courbes ci-dessous :

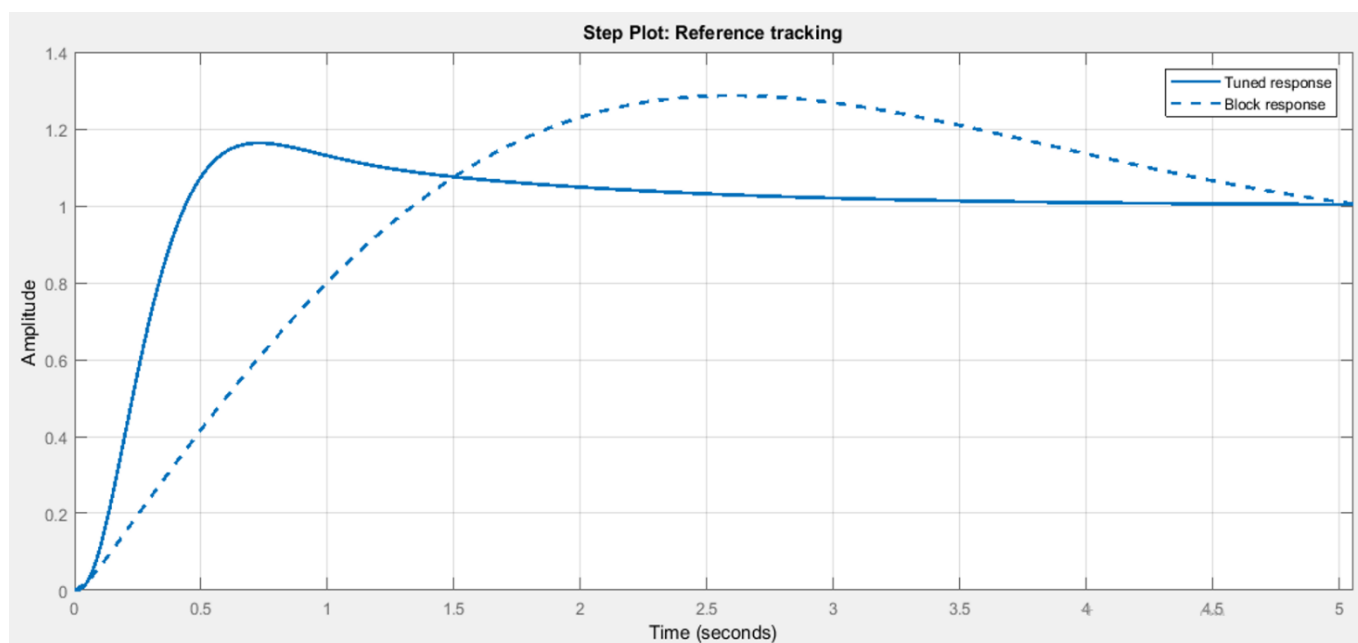


Fig. 14. Réponse du système avant correction en courbe pointillée et après correction en continu

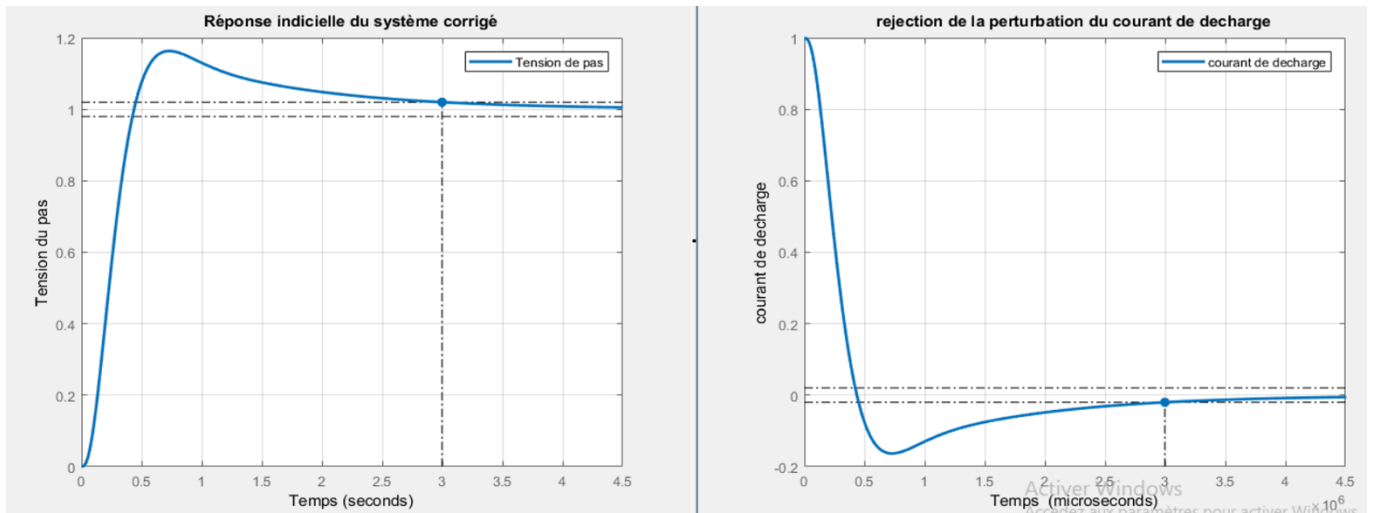


Fig. 15. (a) Réponse du circuit d'écoulement à l'action du courant de foudre (b) Réjection du courant de foudre par le circuit sous l'action du correcteur

La rejection de la perturbation dans le plan de Bode sont représentées par la figure ci-dessous.

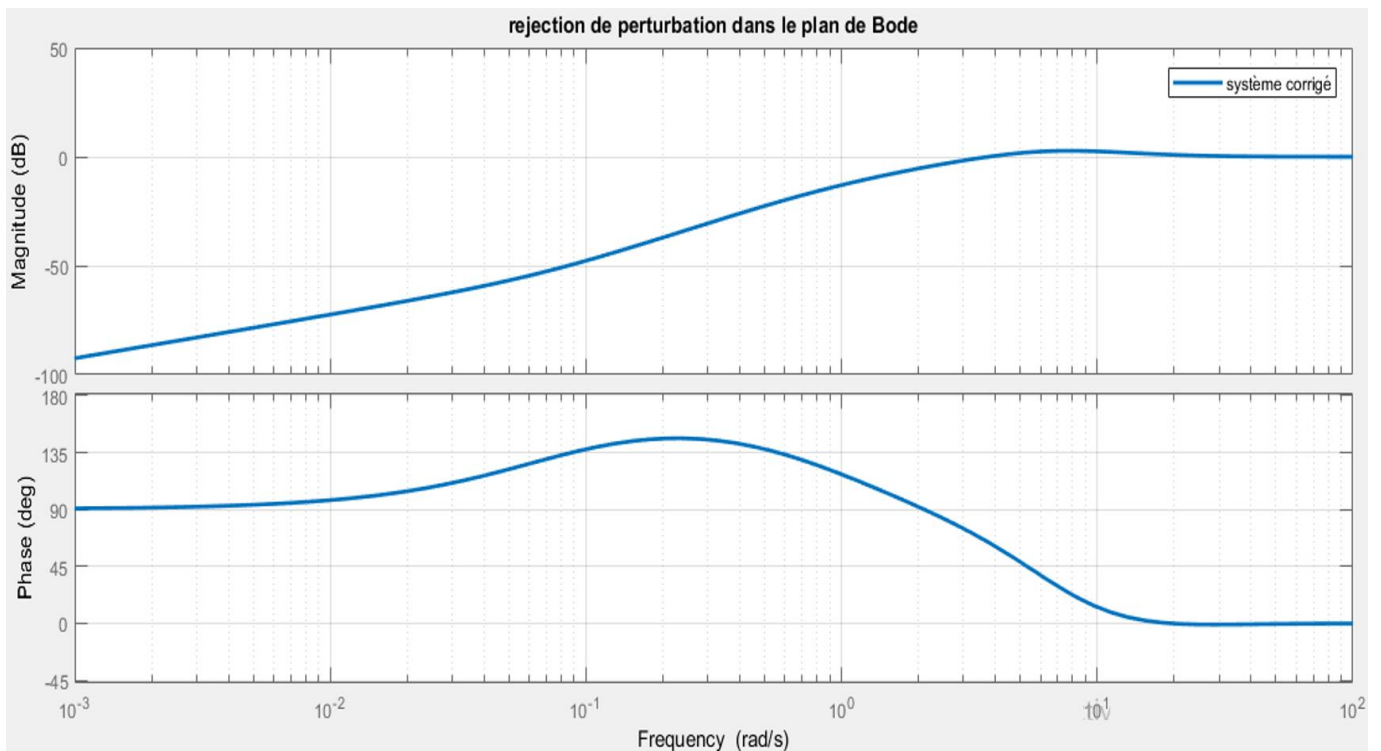


Fig. 16. Réponse du circuit d'écoulement sur le plan de bode.

Pour le passage de $C(s)$ à la forme numérique, nous utilisons la transformation bilinéaire de la forme :

$$s = \frac{2}{T_e} \frac{Z-1}{Z+1} \quad (34)$$

$F(s)$ est identifié comme deux systèmes du 1^{er} ordre en cascade, avec un pôle dominant, donc $\tau = 1$

La période d'échantillonnage est obtenue à partir de la condition ci-dessous :

$\tau \gg T_e \geq \frac{\tau}{4}$; $1 \geq T_e \geq 0,25$; $T_e = 0,5$ Séc Le correcteur sous la forme échantillonné devient :

$$C(z) = \frac{-62,2}{\frac{2}{T_e} \left(\frac{Z-1}{Z+1} \right) + 14,43} = \frac{-62,6}{\frac{2}{0,5} \left(\frac{Z-1}{Z+1} \right) + 14,43}$$

$$C(z) = \frac{-62,2}{18,43Z + 10,43}$$

$$C(z) = \frac{-3,37}{z+0,566} \quad (35)$$

La loi de commande du correcteur s'obtient selon la démarche suivante :

$$C(z^{-1}) = \frac{U(z^{-1})}{\varepsilon(z^{-1})} = \frac{-3,37z^{-1}}{1 + 0,566z^{-1}} \rightarrow U(z^{-1})(1 + 0,566z^{-1}) = \varepsilon(z^{-1})(-3,37z^{-1})$$

$$Z^{-1}[U(z^{-1}) + 0,566z^{-1}U(z^{-1})] = Z^{-1}[\varepsilon(z^{-1})(-3,37z^{-1})]$$

L'expression finale de la loi de commande devient :

$$u(k) = -0,566 u(k-1) - 3,37 \varepsilon(k-1) \quad (36)$$

L'expression ci-dessus représente la loi de commande qui permettra l'implémentation dans un calculateur numérique pour piloter le système physique.

3 CONCLUSION

La ville de Kinshasa, géographiquement se retrouve en Afrique centrale, une région du monde qui est régulièrement arrosée par la foudre. A ce titre les équipements de protection contre la surtension atmosphérique des postes HT, souvent implantés à l'air libre, doivent être bien dimensionné et fiable.

Au-delà des équipements de protection existant, cette publication à proposer l'insertion dans la partie commande de ces équipements, d'un correcteur PID dont l'action est de rejeter les effets de la perturbation afin d'éviter le stress et l'usure des diélectrique susceptible de réduire la durée de vie des équipements du poste HT.

Après simulation du circuit d'écoulement de l'onde de choc sous l'environnement matlab simulink et sous l'action du correcteur, le temps de réponse du circuit est ramené à 3 secondes, valeur comprise dans l'intervalle de temps de réponse recommandée par la Commission Electrotechnique internationale dans sa norme CEI 62305-01

REFERENCES

- [1] Frédéric Elie, Foudre et tension de pas, Novembre 2005.
- [2] Frédéric. Elie, sécurité électrique » septembre 2004.
- [3] Khanh-Nam HO, L'analyse des paramètres de la foudre et modélisation du champ électromagnétique, Laboratoire GEPASUR, <http://gepasud.upf.pf>.
- [4] AFFOLTER Jean-François, HAUTE TENSION, Ecole d'Ingénieurs du canton de Vaud, Département E+I, Yverdon-les-Bains, octobre 2000.
- [5] Jean-Louis LILIEN, Transport et Distribution de l'Énergie Electrique, Manuel de travaux pratiques destiné au cours, Université de Liège 1999/2000.
- [6] M. MECHATI, Modélisation du parafoudre à varistance ZnO pour l'étude de l'amélioration de ses propriétés électriques, mémoire magister, Université de BADJI MOKHTAR ANNABA, 2010.
- [7] Tahar ROUIBAH, Contribution à la modélisation et à la simulation des prises de terre des installations électriques, thèse de doctorat, Université FERHAT ABBES - SETIF 1 UFAS (Algérie), 2015.
- [8] Caractéristiques électriques du sol, UIT Genève, 2018.

Impact thermique de l'injection du courant de foudre dans un sol abritant les postes haute tension: Application au poste HT de Lingwala à Kinshasa en RDC

[Thermal impact of lightning current injection in a ground sheltering high voltage stations: Application at the high voltage station of Lingwala in Kinshasa, RDC]

Mwanamputu Mbwanzo Clément, Nsongo Timothée, Pasi Bengi Masata André, and Lidinga Mobonda Flory

Institut Supérieur des Techniques Appliquées (ISTA), 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: To avoid any risk of electrocution and damage to equipment due to an insulation fault or lightning discharge in the HV electrical network consisting mainly of HV transmission stations and lines, all equipment in these energy infrastructures must be earthed through an earth electrode which must maintain its performance over time following the recurrent flows of the shock wave.

As this aggressive discharge flows to the ground, the resulting thermal effects can lead to ionization of the soil and reduce the performance of the earth electrode by changing the characteristics of the soil. This publication aims to establish the cause and effect relationship between the thermal effects due to the injected lightning current and the electrical characteristics of the ground through its resistivity.

This analysis will allow energy infrastructure designers to take into account these performance changes when injecting lightning current and properly size the earth connections of HV substations.

KEYWORDS: Thermal impact; injection; Lightning current; Ground; Job; High tension.

RESUME: Pour éviter tout risque d'électrocution et détérioration des matériels dus à un défaut d'isolement ou à une décharge de foudre dans le réseau électrique HT constitué principalement de postes et lignes de transmission HT, tous les équipements de ces infrastructures énergétiques doivent être mis à la terre à travers une prise de terre qui doit conserver ses performances dans le temps à la suite des écoulements récurrents de l'onde de choc.

Lors de l'écoulement de cette décharge agressive au sol, les effets thermiques qui en découlent peuvent conduire à l'ionisation du sol et réduire les performances de la prise de terre par la modification des caractéristiques du sol. Cette publication se fixe pour objectif d'établir la relation de cause à effet entre les effets thermiques dus au courant de foudre injecté et les caractéristiques électriques du sol à travers sa résistivité.

Cette analyse permettra aux concepteurs des infrastructures énergétiques de pouvoir tenir compte de ces modifications de performances lors de l'injection du courant de foudre et bien dimensionner les prises de terre des postes HT.

MOTS-CLEFS: Impact thermique; injection; Courant de foudre; Sol; Poste; Haute tension.

1 INTRODUCTION

L'analyse de caractéristiques du sol dans un site devant abriter une installation électrique HT (ligne de transmission, un poste de transformation) est une première exigence dictée par la norme. Cette étude permet de connaître la capacité du sol à

conduire le courant électrique par la mesure de sa résistivité et de dimensionner et choisir le dispositif de mise à la terre en vue de faciliter l'écoulement du courant de défaut, quel que soit son origine, à la terre.

Lorsque le site d'implantation donne la possibilité de choisir l'emplacement de la prise de terre, la mesure de résistivité permet de qualifier le sol et ainsi de déterminer l'endroit où la résistance de terre sera la plus faible (optimisation des coûts de construction).

2 EFFETS THERMIQUES LORS DE L'INJECTION DU COURANT DE Foudre AU SOL

S'agissant des effets thermiques se produisant dans le sol lors de l'injection du courant de foudre, il est donc indispensable de noter qu'une augmentation de la température du sol jusqu'à 100° C entraîne une évaporation d'eau du sol et donc une augmentation de sa résistivité. Lorsque la température tombe au-dessous de 0° C comme le cas des régions froides, la conductivité de γ de l'électrolyte diminue et ainsi un accroissement rapide de la résistivité se produit.

Outre la température du sol, il existe aussi d'autres facteurs qui contribuent à cette formation d'électrolytes il s'agit notamment de: la porosité; le pourcentage d'eau contenu dans le sol; le pourcentage de sels solubles, d'acides et de bases.

Le courant électrique qui circule dans le sol produit un transfert d'énergie par effet Joule sous forme de chaleur; ce qui entraîne une augmentation de la température du milieu. La puissance dissipée dans le sol par unité de volume devient [1]:

$$P = E J = \rho J^2 = \frac{E^2}{\rho} \quad (1)$$

Où :

E: le champ électrique dans le sol en V/m

J: La densité du courant en A/m^2 ;

ρ : La résistivité du sol en Ωm ;

Pour la ville de Kinshasa en république démocratique du Congo, le sol est argilo-sablonneux avec $\rho = 50$ à $500 \Omega m$ [2].

Parmi les caractéristiques spécifiques d'un type de sol qui influencent particulièrement le calcul des mises à la terre, nous retenons:

La chaleur spécifique γ , exprimée en J/ ($m^3 \cdot ^\circ C$) du sol, est la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de 1 ° C un volume de 1 m^3 de sol; elle dépend du type de sol et augmente avec son humidité relative.

Pour un sol argilo-sablonneux $\gamma = 0.42$ W/m. °C pour un sol sec et $\gamma = 1.95$ W/m. °C pour un sol saturé d'eau à 100 % [2].

3 DYNAMIQUE DE CHAUFFAGE DU SOL

Sachant que le transfert de chaleur dans le sol se produit par conduction et par

Convection, la chaleur dégagée par le passage du courant électrique dans le sol par unité de volume est selon la loi de Joules [3]:

$$\frac{q}{v} = j^2 \rho t \quad (2)$$

Où :

q: est l'énergie thermique dégagée en joules;

v: le volume du sol en m^3

j: est la densité du courant en A/m^2 ;

ρ : est la résistivité du sol en Ωm ;

t: temps d'écoulement en s.

L'énergie dégagée q peut atteindre de grandes valeurs si la résistivité du sol ou la densité du courant sont grandes. La chaleur dégagée est en partie emmagasinée dans le sol et cause une augmentation de la température du milieu tandis que la chaleur non emmagasinée se diffuse dans le sol vers les lieux où la température est plus basse. Ainsi. La quantité de chaleur emmagasinée dépend de la chaleur spécifique du sol et la chaleur conduite dépend de la conductivité thermique.

Pour déterminer et illustrer le processus thermique dans le sol, nous analysons le cas d'une prise de terre de forme sphérique enfoncée très profondément et entourée d'un sol de résistivité ρ et qui disperse un courant I conformément à la figure ci-dessous.

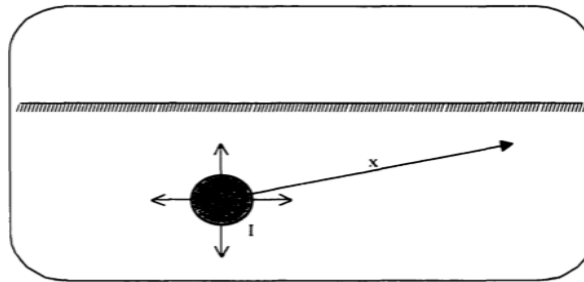


Fig. 1. Prise de terre sphérique dans le sol

Pour déterminer la densité du courant dans le sol à une distance x du centre de la de la prise de terre de forme sphérique [4], nous partirons de l'équation:

$$\iint_S n j dS \quad (3)$$

Sachant que S et x sont respectivement la surface et le rayon de la sphère, la densité du courant injecté dans le sol devient:

$$J = \frac{I}{4\pi x^2} \quad (4)$$

La chaleur dégagée est la somme de la chaleur emmagasinée et la chaleur conduite.

L'équation différentielle du bilan thermique est donnée selon l'équation ci-dessous:

$$j^2 \rho dt = \gamma d\theta - \frac{\wedge}{x} \frac{d^2(x\theta)}{dx^2} dt \quad (5)$$

Où :

θ : la température du sol en °C

$\wedge$: la conductivité thermique du sol

γ : la chaleur spécifique du sol en J/(m³ °C)

Pour une prise de terre de forme sphérique, cette équation devient:

$$\rho \left(\frac{I}{4\pi x^2} \right)^2 = \gamma \frac{d\theta}{dt} - \frac{\wedge}{x} \frac{d^2}{dx^2} \quad (6)$$

L'équation ci-dessus n'a pas de solution générale lorsque la densité du courant J varie avec la distance x du centre de la sphère. Toutefois, cette équation est utilisée dans le calcul de deux cas pratiques:

Circulation d'un courant à la terre pendant une longue durée.

L'hypothèse d'une température constante peut être posée car le dégagement de la chaleur est de longue durée.

$$\text{D'où : } \frac{d\theta}{dt} = 0$$

Réévaluant l'équation (5) on obtient:

$$\wedge \frac{d^2(x\theta)}{dx^2} + \frac{\rho}{x^3} \frac{I^2}{(4\pi)^2} = 0 \quad (7)$$

La solution de cette équation est de la forme:

$$\theta = \frac{\rho}{\lambda x} \left(\frac{I}{4\pi} \right)^2 \left(\frac{2x-r}{2rx} \right) \quad (8)$$

Où r: est le rayon de la sphère

La température maximale du sol est à la surface de la terre; elle est déterminée en posant $r = x$ et la solution de l'équation devient:

$$\theta_r = \frac{\rho}{2\lambda} \left(\frac{I}{2\pi r} \right)^2 \quad (9)$$

Cette température dépend des propriétés caractéristiques du sol λ et ρ , du carré du courant dissipé et de la géométrie de la prise de terre.

Afin d'éviter l'assèchement la température du sol en contact avec la prise de terre, cette température ne doit pas dépasser 100°C.

L'accroissement admissible de température $\Delta\theta$ est donné par:

$$\Delta\theta = \theta_m - \theta_i \leq 100^\circ\text{C} \quad (10)$$

θ_i : est la température initiale

La figure ci-dessous illustre la variation de la température du sol en fonction de la distance x mesurée à partir du centre de la prise de terre.

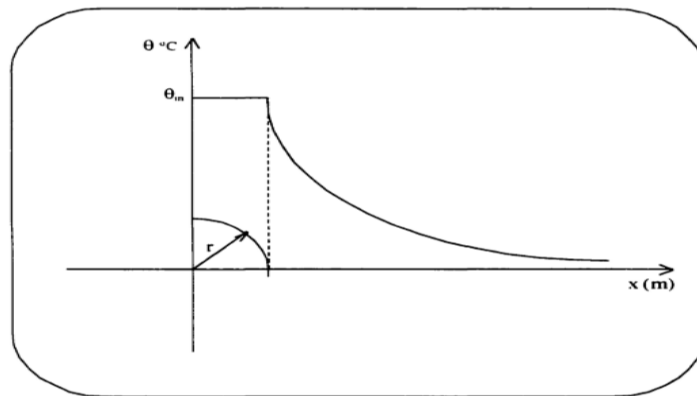


Fig. 2. Distribution de la température autour d'une prise de terre sphérique enfouie profondément dans le sol

L'équation ci-dessous est utilisée pour déterminer le courant admissible dissipé par la prise de terre de forme sphérique [5]

$$I = 4\pi r \sqrt{\frac{2\lambda\Delta\theta}{\rho}} \quad (11)$$

La résistance de terre d'une prise de forme hémisphérique étant liée à son rayon, on a:

$$R = \frac{\rho}{4\pi r} \quad (12)$$

Le courant admissible dissipé devient:

$$I = \frac{1}{R} \sqrt{2\rho\lambda\Delta\theta} \quad (13)$$

De l'équation (13), nous pouvons tirer la résistivité du sol pour donner une équation de la résistivité fonction de la température du sol lors de l'injection du courant de foudre au sol.

$$\rho = \frac{R^2 I^2}{2 \Delta \theta} \quad (14)$$

De l'équation (14), on peut donc affirmer que la variation de la résistivité du sol est fonction du carré du courant injecté et de la résistance de la prise de terre, des conditions climatiques mais aussi des effets thermiques induits au moment de l'injection de ce courant.

La chute de tension admissible sur la prise de terre lors d'une longue période de chauffage est donnée par l'équation ci-dessous:

$$V = RI = \sqrt{2\rho \Delta \theta} \quad (15)$$

Les équations (14) et (15) obtenues permettent la simulation de l'impact thermique du courant de foudre injecté au sol sur la résistivité et la répartition du potentiel autour de la prise de terre des postes Haute Tension.

4 AMPLITUDE DE LA FOUDRE ET RÉSISTANCES DE TERRE MESURÉES AU POSTE HT DE LINGWALA À KINSHASA/RDC

Il a été constaté à Kinshasa/RDC, des surtensions de foudre qui ont duré de 70 secondes à 450 secondes avec des valeurs au-delà de 4Un pour des pics des courants de foudre sur les courbes de la figure 3 correspondent exactement aux amplitudes allant de 100 kA et de 20 kA [6], [7].

Partant de ces deux valeurs extrêmes, nous prenons une moyenne de 60 kA pour montrer l'impact thermique du courant de foudre sur la résistivité du sol.

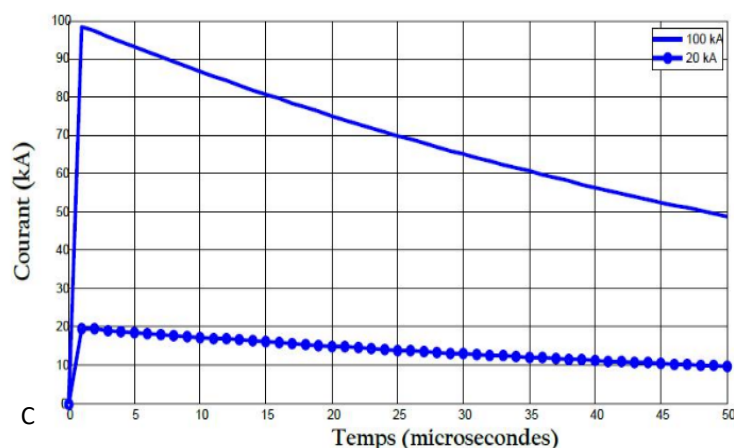


Fig. 3. Courbe de courant de foudre enregistré au poste HT de Lingwala

Pour expérimenter l'impact de la température sur les caractéristiques électriques du sol c.a.d sa résistivité et la chute de tension autour de la prise de terre conformément aux expressions (14) et (15) pour le cas du poste HT de lingwala à Kinshasa/RDC, nous prenons en compte les valeurs de résistances de terre mesurées au poste pendant les mois de mars et avril de l'année 2020, les mois fortement pluvieux de l'année pour le climat tropical.

APPAREIL DE MESURE UTILISÉ

METRIX MX 435 D

Un testeur d'installation multifonction avec caractéristiques suivantes:

- Tension de test max: 500V,
- Intensité max de test: 1ma,
- Gamme de résistance de terre max: 2000 ohms (20; 2000 ohms)
- Avec accessoires (cordons de mesure et 2 piquets de terre)



Fig. 4. Equipements utilisés pour la mesure de la résistance de terre du poste HT de Lingwala/Kinshasa

Le tableau ci-dessous donne les mesures de résistance de terre au poste HT de Lingwala pour les mois de mars et avril 2020

Tableau 1. Mesures de résistance de terre au poste HT de Lingwala pour les mois de mars et avril 2020

Date	Caractéristiques Equipement	Calibre: 20Ω	Valeur mesurée en Ω	Profondeur en m
02/03/2020	METRIX MX 435 D 500 V, 1 mA Rmax: 2000 Ω	20 Ω	11.2	0.8
09/03/2020			11.5	0.8
16/03/2020			10.7	0.8
23/03/2020			10.6	0.8
05/04/2020			9.3	0.8
12/04/2020			9.7	0.8
19/04/2020			10.7	0.8
26/04/2020			11.3	0.8

Après observation de différentes mesures de la résistance, il se dégage de petites variations dont la moyenne pour le mois de mars et avril 2020 est donnée par:

$$R_{moy1} = \frac{11.2+11.5+10.7+10.6}{4} = 11 \Omega$$

$$R_{moy2} = \frac{9.3 + 9.7 + 10.7 + 11.3}{4} = 10.25 \Omega$$

$$R_{moy} = \frac{11 + 20.25}{2} = 10.62 \Omega \cong 11 \Omega$$

Considérant que la température du sol augmente selon la profondeur de pénétration des électrodes de terre, à l'abri des variations saisonnières et à quelques mètres du sol, la température du sol est stable soit une moyenne de 14 °C dans les plaines à basse altitude [8], [9].

Dans le cadre de nos investigations, considérant que la loi de variation de la température du sol étant complexe, deux hypothèses sont possibles:

- La variation de la température du sol, dans l'intervalle de 14 à 100 °C, est due uniquement à la seule amplitude du courant de foudre; soit une moyenne de 60 kA conformément à la courbe de la figure 3.
- Le courant injecté par la foudre peut varier de 100 kA à 20 kA entraînant une variation de la température du sol dans la même plage.

Les tableaux ci-dessous donnent les valeurs de la résistivité et du potentiel de la prise de terre du poste HT de Lingwala pour les deux cas possibles évoqués ci-haut.

Tableau 2. 1^{er} cas

	I	ΔH_{20}	R	$\Delta \theta$	ρ	V	Observation
1	60	19.5	11	14	797.8	659.99	$\cong 660 \text{ V}$
2				28	398.9	659.99	
3				42	265.9	659.95	
4				56	199.4	659.91	
5				70	159.5	659.87	
6				84	132.9	659.83	
7				98	113.7	659.2	

Tableau 3. 2^{ème} cas

	I	ΔH_{20}	R	$\Delta \theta$	ρ	V	Observation
1	25	19.5	11	14	138.5	274.9	275
2	35			28	135.7	384.9	385
3	45			42	149.5	498	498
4	55			56	167.5	604.9	605
5	65			70	156	714.9	715
6	75			84	178	824.9	825
7	85			98	228	934.9	935

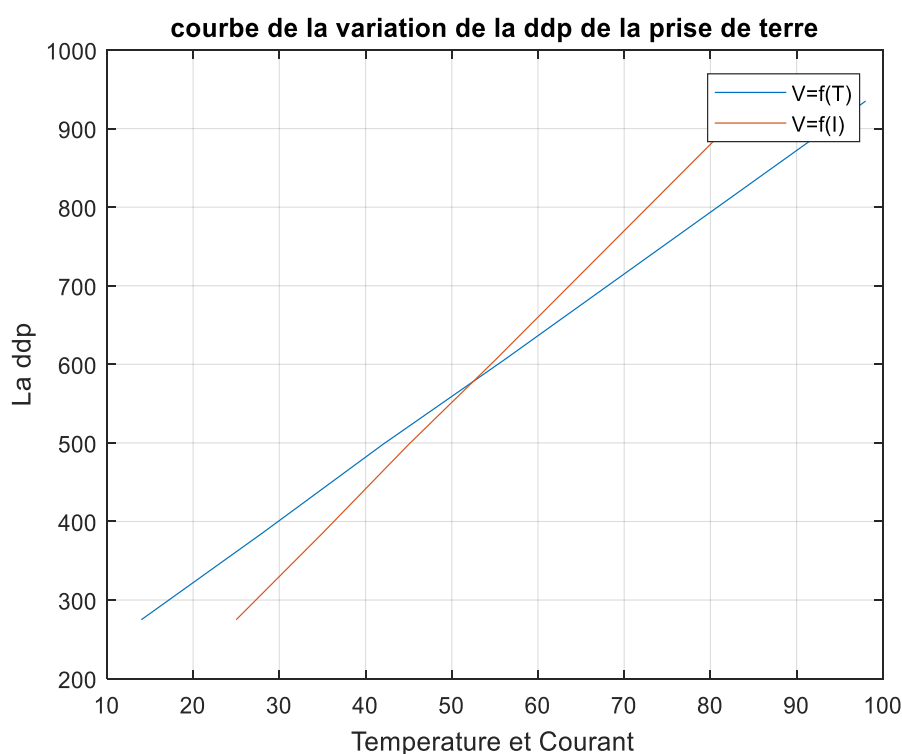


Fig. 5. Evolution de la tension de pas autour de la prise de terre du poste HT de Lingwala en fonction du courant de foudre injecté au sol et de la température

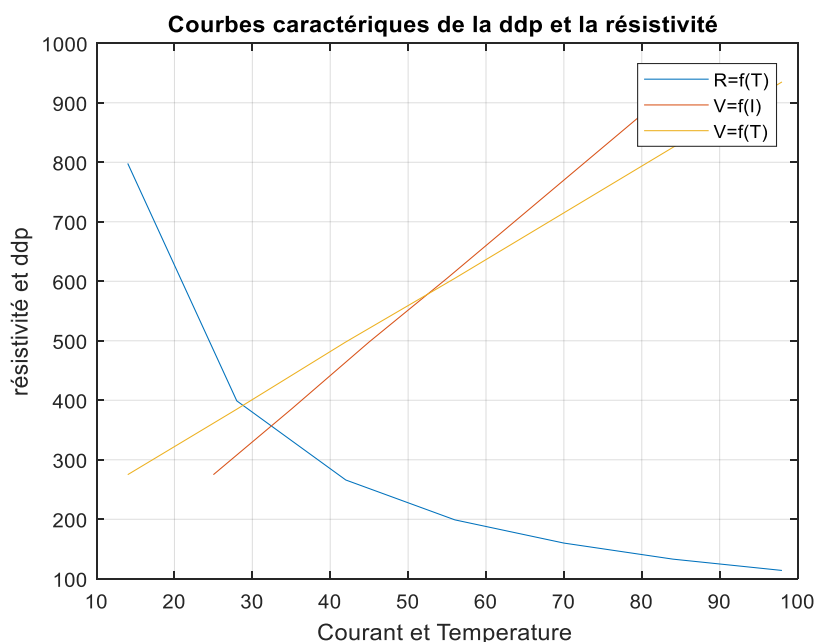


Fig. 6. Evolution de la résistivité du sol, de la tension de pas en fonction du courant de foudre et de la température

5 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Le premier cas qui cadre avec une amplitude constante du courant de foudre, soit une moyenne de 60 kA, est proche de la réalité du phénomène étudié car la résistivité du sol est liée à sa nature et décroît lorsque la température du sol augmente telle que la montre la figure ci-dessus.

Dans la gamme de température choisie, les valeurs de la résistivité ne s'écartent pas trop des valeurs moyennes consignées dans le tableau 1 pour un sol de type Sable argileux.

La différence de potentiel ou la tension de pas autour de la prise de terre du poste HT, site de référence de nos investigations, n'est pas liée aux phénomènes thermiques; elle est toujours constante conformément au tableau 3. Cette réalité reste la même pour les autres types de sol.

S'agissant du 2^{ème} cas, il est possible que lors de la décharge de la foudre le courant véhiculé par le traceur varie dans son parcours mais au point d'impact au sol, la valeur enregistrée reste toujours constante; ce qui n'est pas le cas avec la deuxième possibilité qui consiste à un courant de foudre variable.

La résistivité subit des fluctuations pour une température croissante, ce qui ne cadre pas avec la réalité des phénomènes thermiques du sol.

6 CONCLUSION

Lors de l'injection du courant de foudre au sol, la chaleur dégagée est en partie emmagasinée dans le sol et cause une augmentation de la température du milieu qui peut être ionisé par effet joule tandis-que la chaleur non emmagasinée se diffuse dans le sol vers les lieux où la température est plus basse.

Selon le modèle dynamique de chauffage du sol utilisé, seul le phénomène de la diffusion a été pris en compte dans nos investigations sur les impacts thermiques grâce à la connaissance de la conductivité thermique du sol de la ville de Kinshasa dont la nature est soit sablonneuse, argileuse ou argilo-sablonneux.

Grace aux échantillons de la résistance de la prise de terre mesurée au poste de Lingwala/Kinshasa, nous avons montré que la résistivité du sol varie exponentiellement avec la température du sol et sa nature lors de l'écoulement du courant de foudre à la terre; ce qui est différent des approximations données par l'expression de Mathiesen où la résistivité des métaux varie linéairement avec la température.

REFERENCES

- [1] A. PASI BENGI MASATA, Electricité Générale, tome 2.
- [2] Semaan Georges, Evaluation de l'effet de la mer et du contrepoids sur le profil de la tension d'un système de mise à la terre d'une ligne de transport d'énergie électrique HT dans un sol résistif, thèse de doctorat, école supérieure technologique, université de Québec, 2001.
- [3] Wildi T, Electrotechnique, les presses universitaires de Laval, 2ème éd.
- [4] Sunde, Conduction effects in transmission system, New York, Dover.
- [5] Tagg.GF, Earth Résistances, George New Ness LTD, London 1964.
- [6] Pubica, 1968.
- [7] Vladimir et al, 2008], [Deguauque, 1990.].
- [8] Rapport exploitation HT, SNEL 2019.
- [9] <http://www.geo.fr/environnement/les-mots-verts/puits-canadiensmaisongeothermie> 39189
- [10] <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geo>

Utilisation de la matrice d'Hadamard pour le criblage des facteurs dans l'élaboration des nouveaux catalyseurs semi-synthétiques du craquage de pétrole

[Application of the Hadamard matrix for factor screening in the elaboration of new semi-synthetic petroleum cracking catalysts]

Abdoulaye Dan Makaou Oumarou^{1,2}, Alassane Ibrahim Maman Bachir³, Garba Neino Abdoulaye³, Kouassi Konan Edmon⁴, Mamane Souley Abdoulaziz^{1,2}, and Yao Kouassi Benjamin²

¹Département des Energies Fossiles, Université d'Agadez (UAZ), B.P. 199 Agadez, Niger

²Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro, B.P. 1093, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de Génie Civil, Géosciences et Sciences Géographiques, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, de Yamoussoukro BP 1093, Côte d'Ivoire

⁴Unité de Formation et de Recherche Sciences Fondamentales et Appliquées, Université Nangui Abrogoua (UFR SFA), 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: In this study, new semi-synthetic catalysts based on kaolinite were fabricated for catalytic cracking of petroleum residue. A screening study by Hadamard matrix type Plackett and Burman was conducted to determine the factors that influence the development of the best catalysts. The experimentation activated the catalysts with hydrochloric acid (HCl) and then calcined them (650 and 800 °C). The catalytic activity of the catalysts thus elaborated was determined and compared to that of an industrial catalyst. The results indicated values as high as 57 meq/g of acidity on the surface of the elaborated catalysts. The main influencing factors were: kaolinite, acid concentration and the type of oxide used.

KEYWORDS: Clay, catalyst, catalytic cracking, Hadamard matrix, acidity.

RESUME: Dans cette étude, des nouveaux catalyseurs semi-synthétiques à base de la kaolinite ont été fabriqués pour le craquage catalytique d'un résidu pétrolier. Un plan d'expérience (matrice d'Hadamard) a été établi afin de déterminer les facteurs qui influencent l'élaboration des meilleurs catalyseurs. L'expérimentation a permis d'activer les catalyseurs par l'acide chlorhydrique (HCl) puis de les calciner (650 et 800 °C). L'activité catalytique des catalyseurs ainsi élaborés, a été déterminée et comparée à celle d'un catalyseur industriel. Les résultats ont indiqué des valeurs qui ont atteint jusqu'à 57 méq/g d'acidité à la surface des catalyseurs élaborés. Les principaux facteurs influents sont: la kaolinite, la concentration d'acide et le type d'oxyde utilisé.

MOTS-CLEFS: Argile, catalyseur, craquage catalytique, matrice d'Hadamard, acidité.

1 INTRODUCTION

Les catalyseurs sont des substances qui par leur seule présence et sans prendre part aux réactions, les accélèrent [1]. Ils constituent l'un des outils les plus puissants dans l'industrie de raffinage du pétrole [2]. Le raffinage est l'ensemble des opérations (traitements + transformations) visant à produire à partir du pétrole brut le maximum de produits (ou dérivés) à hautes valeurs commerciales [3]. Ces opérations peuvent être regroupées globalement en trois catégories [4] – [9]: les opérations de séparation, les opérations de conversion et les opérations d'épuration. Parmi les opérations de conversion, le craquage catalytique à lit fluidisé (FCC en anglais) est un procédé clé de raffinage qui traite les huiles lourdes à faible valeur ajoutée en utilisant des catalyseurs [10].

Les catalyseurs du craquage catalytique sont des solides poreux ayant des propriétés acides [8], [11], [12]. Ils sont constitués d'une matrice à laquelle on ajoute des additifs (oxydes métalliques). La matrice de ces catalyseurs comprend de l'argile telle que la kaolinite, la bentonite, etc. [13]. Les catalyseurs en argile ont suscité beaucoup d'intérêt pour l'application catalytique dans l'industrie du raffinage du pétrole [2], [14]. L'étude des argiles a connu un intérêt ces dernières années du fait de leur abondance dans la nature, leur surface spécifique importante et leur charge électrique [15]. Les argiles sont beaucoup utilisées comme catalyseurs et supports de catalyseurs dans les opérations de raffinage (craquage catalytique, l'hydrocraquage, le reformage, etc). Les plus importantes utilisées dans la fabrication des catalyseurs sont le kaolin et la montmorillonite [2].

D'autres part, avec la croissance de la demande des carburants (essence, gazole) dans le monde, l'industrie de raffinage du pétrole est stimulée dans la recherche de la possibilité de traiter les résidus lourds et d'accroître le rendement en carburants [2], [16], [17]. Cela a souligné l'importance des procédés qui convertissent les fractions pétrolières plus lourdes en produits légers [18]. Cependant, la variabilité des propriétés des charges lourdes et la recherche d'un rendement maximal en produits à haute valeur commerciale, conduisent l'industrie de raffinage à la recherche des catalyseurs de plus en plus performants. Par conséquent, il faut continuellement concevoir et élaborer de nouveaux catalyseurs [19] du FCC et/ou améliorer leur performance progressivement [20] – [22]. Ainsi, la recherche des catalyseurs de plus en plus efficaces constitue aujourd'hui une vraie question de recherche.

Dans la présente étude, l'argile sera utilisée pour élaborer des nouveaux catalyseurs semi-synthétiques du FCC mais en se servant d'un outil d'optimisation (plans d'expériences). L'optimisation va consister à trouver les conditions expérimentales correspondant à un optimum de la réponse étudiée [23]. Les plans d'expériences sont des outils d'optimisation employés dans les industries en recherche-développement. Ils interviennent dans divers domaines industriels notamment dans l'industrie pétrochimique, métallurgique, chimique et mécanique [24]. Les plans d'expériences permettent d'analyser simultanément les effets de variables d'entrée (facteurs) sur la variable de sortie (réponse). Les matrices d'Hadamard constituent l'une des méthodes les plus utilisées pour rechercher les facteurs influents dans un domaine expérimental donné. Elles permettent de calculer les 'poids' relatifs des facteurs étudiés sur la réponse mesurée. Ce qui conduit à distinguer les facteurs importants, moyens et négligeables selon les résultats quantitatifs obtenus [25]. Le plan d'Hadamard sera utilisé dans cette étude.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels utilisés pour élaborer les catalyseurs sont énumérés ci-après.

FRACTION ARGILEUSE

La fraction argileuse inférieure à deux micromètres ($< 2\mu\text{m}$) est extraite d'une argile brute du Niger [26]. Elle est utilisée sous sa forme simple (A1) et sa forme rendue homoionique sodique (A2), comme support pour l'élaboration des catalyseurs.

OXYDE DE CHROME (Cr_2O_3)

La chromine ou oxyde de chrome est un oxyde particulièrement stœchiométrique. Il se présente sous la forme d'une poudre verte, inodore et insoluble dans l'eau. Son point de fusion, sa densité et sa pureté sont respectivement 2435°C ; 5,22 et supérieur à 98 %.

L'oxyde de chrome utilisé est fourni par EXPERTISE CHIMIQUE SARL (Abidjan Cocody Angré Star 6, Côte d'Ivoire).

OXYDE DE LANTHANE (La_2O_3)

L'oxyde de lanthane est un oxyde de terre rare. Les oxydes de terre rare sont des matériaux potentiellement utiles pour différentes applications [27]. Ils sont très réfractaires et leurs points de fusion sont compris entre 2300 et 2500 °C [28].

L'oxyde de lanthane présente de multiples intérêts pour des applications industrielles et technologiques. Il peut être utilisé dans les convecteurs de gaz d'échappement [29], comme un matériau prometteur catalytique [30]. Il est également utilisé comme agent de renfort au sein de matériaux de structure [31].

L'oxyde de lanthane (La_2O_3), fourni par la société Merck KgaA, 64271 Darmstadt, Germany (pur à 99,5%) est utilisé dans ce travail. Il a une masse molaire de 325,81 g.mol⁻¹.

FLORISIL

C'est un silicate de magnésium synthétique qui se présente sous forme d'une poudre blanche et inodore, de formule $\text{MgO} \cdot x\text{SiO}_2$ (x désigne le rapport molaire moyen de SiO_2 à MgO). Il est amorphe et insoluble dans l'eau. Ces particules sont poreuses avec une granulométrie comprise entre [0,150 – 0,250 mm].

GEL DE SILICE

C'est un hydroxyde de silicium de formule $\text{Si}(\text{OH})_4$ polymère d'acide silicique. Les grains sont poreux et leur granulométrie varie de [05 – 10 µm].

ACIDE CHLORHYDRIQUE (HCL)

Le HCl utilisé dans ce travail est à 37%. Sa masse molaire et sa masse volumique sont respectivement 36,46 g/mol et 1,19 g/cm³ [32]. Il a été fourni par la société ACI (Agriculture Commerce Industrie).

2.2 ELABORATION DES CATALYSEURS ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Des mélanges ont été préparés à partir des argiles, des silices et des oxydes. Ensuite, pour l'élaboration des catalyseurs, on a fait recours à un plan d'expérience notamment le plan d'Hadamard.

2.2.1 MODÈLE MATHÉMATIQUE

Le modèle mathématique issu du plan d'Hadamard est un polynôme de degré 1. Il est donné par l'Equation (1) :

$$Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4 + b_5 * X_5 + b_6 * X_6 + b_7 * X_7 + e \quad (1)$$

Où:

Y = réponse ou activité ou acidité de surface;

b_0 = valeur moyenne théorique de la réponse;

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 , et b_6 = effets principaux des facteurs $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$;

e = terme d'erreur.

2.2.2 DOMAINE EXPÉRIMENTAL ET PLAN D'EXPÉRIMENTATION

L'expérimentation a concerné sept (7) facteurs qui sont: le type d'argile (U_1), le type de silice (U_2), le type d'oxyde (U_3), la concentration de l'acide HCl (U_4), le temps d'agitation (U_5), le temps de séchage (U_6) et la température de calcination (U_7). Ces facteurs sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Domaine Expérimental

Facteurs	Unité	Niveau – 1	Niveau + 1
Type d'argile (U ₁)	g	Argile (A1)	Argile (A2)
Type de silice (U ₂)	g	Florisil (F)	Gel de silice (GS)
Type d'oxyde (U ₃)	g	Cr ₂ O ₃ (Ox1)	La ₂ O ₃ (Ox2)
Dose d'acide (U ₄)	%	10	20
Temps agitation (U ₅)	h	6	10
Temps de séchage (U ₆)	h	12	24
Température de Calcination (U ₇)	°C	650	800

Ensuite, huit (8) essais (Tableau 2) ont été réalisés en s'inspirant du principe de construction de la matrice d'expérience d'Hadamard [25], [33].

Tableau 2. Plan d'expérimentation

Facteurs							
N°Exp	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
1	A2	GS	Ox2	10	10	12	650
2	A1	GS	Ox2	20	6	24	650
3	A1	F	Ox2	20	10	12	800
4	A2	F	Ox1	20	10	24	650
5	A1	GS	Ox1	10	10	24	800
6	A2	F	Ox2	10	6	24	800
7	A2	GS	Ox1	20	6	12	800
8	A1	F	Ox1	10	6	12	650

2.2.3 DÉTERMINATION DE LA RÉPONSE EXPÉRIMENTALE

La réalisation de ces huit (8) expériences a permis de déterminer la réponse Y.

L'activité des catalyseurs utilisés pour le craquage des pétroles est directement liée à l'acidité de surface. L'acidité totale des catalyseurs a été déterminée selon la méthode de BOEHM (1966) qui repose sur la force acido-basique des fonctions de surface.

L'échantillon à étudier est mis en contact avec une solution de l'une des quatre bases de forces différentes: Na HCO₃, Na₂CO₃, NaOH, et C₂H₅ONa. On dose en retour l'excès de base par une solution d'acide chlorhydrique de 0,1 N.

Le protocole a consisté à mettre en contact 0,5 gramme d'échantillon pendant 72 heures sous agitation avec 25 mL d'une solution à 0,1N de l'une des quatre bases. La suspension est ensuite filtrée sur une membrane en nitrate de cellulose Wathman puis l'excès de solution basique est dosé en retour par une solution de HCl à 0,1 N.

2.2.4 TRAITEMENT STATISTIQUE

Le test de significativité des facteurs a été effectué en calculant l'erreur expérimentale (Equation 2) [34].

$$e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Où σ est l'écart type et n , le nombre de répétition.

La relation (3) a permis de calculer la contribution de chaque facteur sur l'acidité des catalyseurs [23], [35].

$$P_i = \left(\frac{b_i^2}{\sum b_i^2} \right) * 100; (i \neq 0) \quad (3)$$

Où P_i , la contribution du facteur i sur la réponse et b_i , le coefficient statistique correspondant au facteur i .

3 RÉSULTATS

3.1 OBTENTION DES CATALYSEURS SELON LE PLAN D'HADAMARD

Après la réalisation des différents essais, les résultats sont présentés dans le Tableau 3. Le plan d'expérimentation a permis d'enregistrer comme réponse, l'acidité à la surface des catalyseurs. On observe une variation de cette réponse de 23,50 à 57 milliéquivalents par gramme (méq/g).

Tableau 3. Résultats expérimentaux d'obtention des catalyseurs selon le plan d'Hadamard

N° Exp	Facteurs							Réponse
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	Y (méq/g)
1	A2	GS	Ox2	10	10	12	650	50
2	A1	GS	Ox2	20	6	24	650	40
3	A1	F	Ox2	20	10	12	800	23,5
4	A2	F	Ox1	20	10	24	650	32
5	A1	GS	Ox1	10	10	24	800	57
6	A2	F	Ox2	10	6	24	800	26
7	A2	GS	Ox1	20	6	12	800	32,5
8	A1	F	Ox1	10	6	12	650	50

*Y = acidité de surface

3.2 MODÈLE POSTULE

Le modèle mathématique représentant la réponse en fonction de variables est donné par l'Equation 4.

$$Y = 38,94 - 3,69 X_1 + 5,94 X_2 - 3,94 X_3 - 6,94 X_4 + 1,69 X_5 - 0,06 X_6 - 4,06 X_7 + e \quad (4)$$

L'erreur expérimentale (e) a été calculée en choisissant l'essai 6, étant donné qu'on a deux catégories de facteurs (qualitatifs et quantitatifs), sa valeur vaut 0,89.

3.3 ANALYSE STATISTIQUE ET TEST DE SIGNIFICATIVITÉ DES COEFFICIENTS

Le Tableau 4 présente les résultats des estimations et statistiques des coefficients. Le test de significativité de chaque coefficient du modèle a été effectué en considérant qu'un coefficient est statistiquement significatif si sa valeur absolue est supérieure à deux fois l'erreur expérimentale (Equation 2) [34].

Tableau 4. Estimations et statistiques des coefficients

Nom	Coefficient	Observations
b0	38,94	-
b1	-3,69	Significatif
b2	5,94	Significatif
b3	-3,94	Significatif
b4	-6,94	Significatif
b5	1,69	Non significatif
b6	-0,06	Non significatif
b7	-4,06	Significatif

3.4 EFFETS DES FACTEURS

Les principaux effets sur la réponse ou l'acidité de surface sont présentés à la Figure 1. Cette figure montre la contribution des différents facteurs sur la réponse enregistrée.

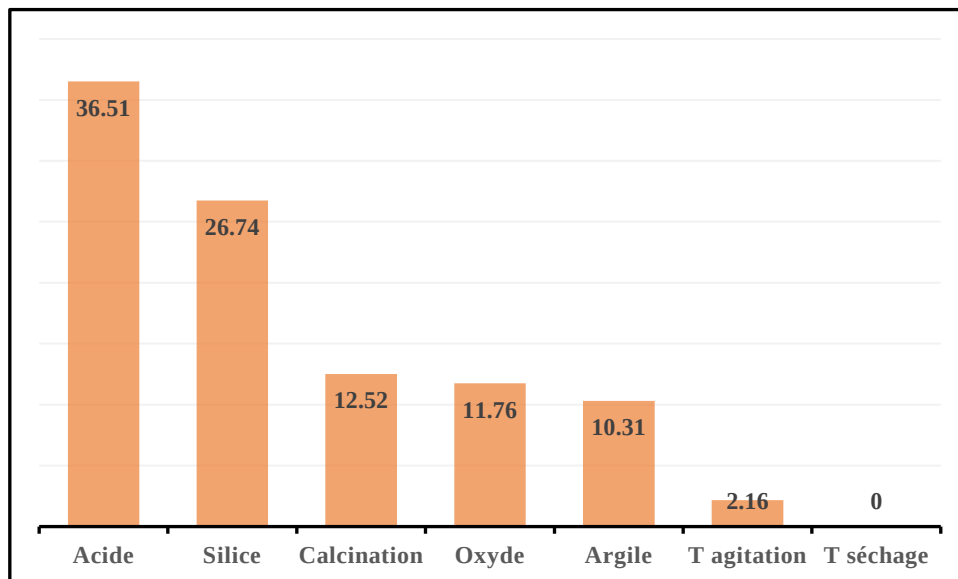


Fig. 1. Contribution des différents facteurs

La Figure 1 montre les apports des différents facteurs sur l'acidité à la surface des catalyseurs élaborés. Ces apports de la concentration de l'acide, du type de silice, de la température de calcination, du type d'oxyde, de l'argile et du temps d'agitation sur l'acidité sont respectivement de 36,51; 26,74; 12,52; 11,76; 10,31 et 2,16 %.

La Figure 2 donne les effets des facteurs dans la variation de la réponse.

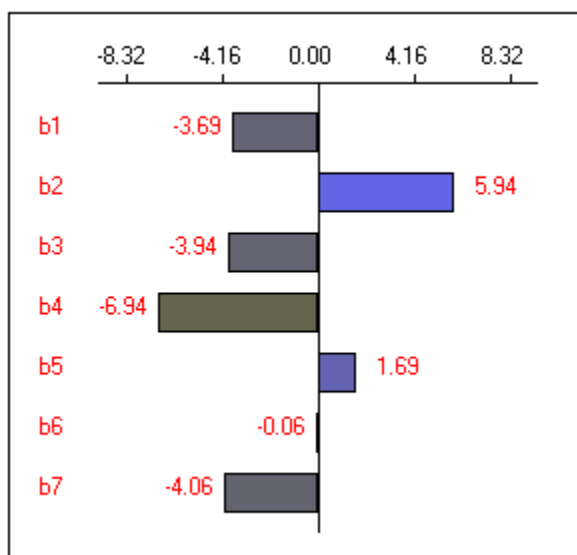


Fig. 2. Effets des facteurs

4 DISCUSSION

En analysant les signes des différents coefficients présentés dans le Tableau 4, il est à remarquer que l'acidité diminue lorsqu'on utilise l'argile rendue homoionique sodique (A2) au lieu de l'échantillon A1. Elle diminue également avec l'oxyde de lanthane, la concentration de 20% HCl, le temps de séchage de 24 heures et la température de calcination de 800 °C. Par contre l'acidité augmente si le gel de silice est utilisé au lieu du floril et lorsque le temps d'agitation est de 10 heures au lieu de 6 heures.

Les valeurs d'acidité de surface du Tableau 4 sont bien meilleures que celles des catalyseurs zéolitiques du FCC (30 à 50 méq/g) utilisés par Ibarra et *al.* [36]. Ces valeurs enregistrées ont été comparés également à celle d'un catalyseur industriel qu'utilise la Société de Raffinage de Zinder (Niger). Les catalyseurs 1, 5 et 8 sont meilleurs en termes d'acidité que ce catalyseur industriel (40 méq/g).

Les Figures 1 et 2 montrent que l'acide (facteur b₄) est le facteur le plus influent sur la réponse avec un coefficient de -6,94 et une contribution de 36,51 %. Le signe moins du coefficient indique que le passage d'une concentration d'acide de 10 à 20 % entraîne une diminution de la valeur de la réponse (Y).

Enfin, pour avoir un catalyseur plus actif, il serait favorable d'utiliser l'échantillon A1 comme support et l'oxyde de chrome pour la neutralisation de l'effet des contaminants. Une concentration de 10% HCl est suffisante avec un temps de séchage de 12 heures et une température de calcination de 650 °C.

5 CONCLUSION

Dans ce travail, il a été question d'élaborer des nouveaux catalyseurs semi-synthétiques à base d'argile, utilisables dans le procédé du craquage catalytique du pétrole. Pour ce faire, la méthode des plans d'expérience a été utilisée. Les résultats ont montré de manière nette que le criblage des facteurs est une méthode intéressante pour la l'élaboration de nouveaux catalyseurs semi-synthétiques du craquage du pétrole. La construction de la matrice d'Hadamard a conduit à un modèle du premier ordre. Le test de significativité des facteurs a permis d'identifier les facteurs significatifs suivants: type d'argile, type d'oxyde, dose d'acide et la température de calcination. L'analyse des signes des différents coefficients du modèle a permis de déduire que A2, l'oxyde de lanthane, la concentration de 20 % HCl, le temps de séchage de 24 heures et la température de calcination de 800 °C, diminuent l'acidité. En revanche, l'acidité augmente avec le gel de silice et un temps d'agitation de 10 heures.

Il ressort de cette étude que l'utilisation de plan d'expérience est un bon moyen d'optimisation dans la fabrication des catalyseurs industriels.

REFERENCES

- [1] J. Lepage, *Catalyse de Contact*, Edition Technip. Paris, 1971.
- [2] E. A. Emam, « Clays as catalysts in petroleum refining industry », *ARPN J. Sci. Technol.*, vol. 3, no 4, p. 356–375, 2013.
- [3] J. Laxalde, « Analyse des produits lourds du pétrole par spectroscopie infrarouge », Thèse, Université de Lille 1, 2012.
- [4] T. Mounir et N. Ridha, « Le dessalage du pétrole : Redimensionnement et paramètres clés (UTBS/HMD) », Université Kasdi-Merbah Ouargla, Ouargla, Algérie, Master Académique, 2013.
- [5] A. Dupuy, « Procédé de Distillation », IFP Training, DT BIN-00006_A_F-Rév. 10, 2013.
- [6] J.-P. Wauquier, *Raffinage du pétrole Tome 1 - Pétrole brut. Produits pétroliers - Schémas de fabrication*, Technip., vol. 1. Editions Technip, 1998.
- [7] J.-P. Wauquier, *Raffinage du pétrole Tome 2 - Procédés de Séparation*, vol. 2. Editions Technip, 1998.
- [8] P. Leprince, *Raffinage du pétrole Tome 3 - Procédés de Transformation*, Technip., vol. 3. 1998.
- [9] « Les trois étapes du raffinage », Planète Énergies. <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/les-trois-etapes-du-raffinage> (consulté le janv. 13, 2020).
- [10] R. Sadeghbeigi, *Fluid catalytic cracking handbook: An expert guide to the practical operation, design, and optimization of FCC units*. Elsevier, 2012.
- [11] A. A. Avidan, « Origin, development and scope of FCC catalysis », in *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 76, Elsevier, 1993, p. 1–39.
- [12] J. Scherzer, « Octane-enhancing, zeolitic FCC catalysts: scientific and technical aspects », *Catal. Rev. Eng.*, vol. 31, no 3, p. 215–354, 1989.

- [13] S. Al-Khattaf, « The influence of alumina on the performance of FCC catalysts during hydrotreated VGO catalytic cracking », *Energy Fuels*, vol. 17, no 1, p. 62–68, 2003.
- [14] O. Abdoulaye Dan Makaou, S. Gueu, M. Gourouza, et K. B. Yao, « Development of semi-synthetic catalyst based on clay and their use in catalytic cracking of petroleum residue », *Appl. Petrochem. Res.*, vol. 11, no 2, p. 147-154, 2021, doi: 10.1007/s13203-021-00268-w.
- [15] O. Bouras, « Propriétés adsorbantes d’argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation », Thèse, Université de Limoges, 2003.
- [16] M. L. A. Gonçalves, J. R. Barreto, W. V. Cerqueira, et A. M. R. Teixeira, « Effect of zeolite, kaolin and alumina during cracking of heavy petroleum residue evaluated by thermogravimetry », *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 97, no 2, p. 515, 2009.
- [17] N. L. A. Souza, R. Paniago, J. D. Ardisson, E. Morgado, et K. Krambrock, « Iron contamination of FCC catalysts: Quantification of different crystalline phases and valence states », *Appl. Catal. Gen.*, vol. 569, p. 57-65, 2019, doi: 10.1016/j.apcata.2018.10.019.
- [18] M. S. Rana, V. Sámano, J. Ancheyta, et J. A. I. Diaz, « A review of recent advances on process technologies for upgrading of heavy oils and residua », *Fuel*, vol. 86, no 9, p. 1216-1231, 2007, doi: 10.1016/j.fuel.2006.08.004.
- [19] J. Speight, « Chapter 16 - Refining shale oil », in *Shale Oil and Gas Production Processes*, J. Speight, Éd. Gulf Professional Publishing, 2020, p. 873-912.
- [20] A. I. Hussain, A. M. Aitani, M. Kubů, J. Čejka, et S. Al-Khattaf, « Catalytic cracking of Arabian Light VGO over novel zeolites as FCC catalyst additives for maximizing propylene yield », *Fuel*, vol. 167, p. 226-239, 2016, doi: 10.1016/j.fuel.2015.11.065.
- [21] O. Awayssa, N. Al-Yassir, A. Aitani, et S. Al-Khattaf, « Modified HZSM-5 as FCC additive for enhancing light olefins yield from catalytic cracking of VGO », *Appl. Catal. Gen.*, vol. 477, p. 172–183, 2014.
- [22] X. Li, B. Shen, et C. Xu, « Interaction of titanium and iron oxide with ZSM-5 to tune the catalytic cracking of hydrocarbons », *Appl. Catal. Gen.*, vol. 375, no 2, p. 222–229, 2010.
- [23] K. E. Kouassi, « Optimisation de la transestérification des huiles végétales à des fins de carburant par des plans d’expériences et des réseaux de neurones artificiels couplés à l’algorithme génétique », Thèse, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Abidjan, 2017.
- [24] Philippe Triboulet, *Notions de bases sur les plans d’expériences*. Lycée Niepce – Chalon sur Saône, 2008.
- [25] R. Perrin et J.-P. Scharff, « Chimie industrielle », p. 359, 1993.
- [26] O. D. M. Abdoulaye, B. K. Yao, A. M. Ahmed, K. Adouby, D. M. K. Abro, et P. Drogui, « Mineralogical and morphological characterization of a clay from Niger », *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 10, no 7, p. 582-589, 2019.
- [27] M. Leskelä, K. Kukli, et M. Ritala, « Rare-earth oxide thin films for gate dielectrics in microelectronics », *J. Alloys Compd.*, vol. 418, no 1-2, p. 27–34, 2006.
- [28] D. Nicolas, « Etude d’agrégats d’oxydes de terres rares », Thèse, Université Claude Bernard - Lyon I, 2007.
- [29] G. A. Mekhemer et B. A. Balboul, « Thermal genesis course and characterization of lanthanum oxide », *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 181, no 1-3, p. 19–29, 2001.
- [30] X. Zhang, A. B. Walters, et M. A. Vannice, « NO_x decomposition and reduction by methane over La₂O₃ », *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 4, no 2-3, p. 237–256, 1994.
- [31] J. Yang, Z. Nie, et Y. Wang, « Microstructure and emission ability of rare earth oxides doped molybdenum cathodes », *Appl. Surf. Sci.*, vol. 215, no 1-4, p. 87–95, 2003.
- [32] « Acide chlorhydrique », Wikipédia. oct. 06, 2019, Consulté le: oct. 17, 2019. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Acide_chlorhydrique&oldid=163288797.
- [33] R. L. Plackett et J. P. Burman, « The design of optimum multifactorial experiments », *Biometrika*, vol. 33, no 4, p. 305–325, 1946.
- [34] M. Feinberg, *La validation des méthodes d’analyse: une approche chimiométrique de l’assurance qualité au laboratoire*. Masson, 1996.
- [35] S. Karam, « Application de la méthodologie des plans d’expériences et de l’analyse de données à l’optimisation des processus de dépôt », Thèse, Université de Limoges, 2004.
- [36] Á. Ibarra, I. Hita, M. J. Azkoiti, J. M. Arandes, et J. Bilbao, « Catalytic cracking of raw bio-oil under FCC unit conditions over different zeolite-based catalysts », *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 78, p. 372-382, 2019, doi: 10.1016/j.jiec.2019.05.032.

Conception et Simulation de Filtres Passe-Bande Miniaturisés à Base de Résonateur à Saut d'Impédance

[Design and Simulation of Miniaturized Band pass filters Based on Stepped Impedance Resonator]

Ali Mahamoud Ali¹, Bakhit Amine Adoum^{1,2}, Idriss Saleh Bachar², and Mahamoud Youssouf Khayal¹

¹Laboratoire de Recherche en TIC, Laboratoire de Mathématiques, Modélisation, Informatique, Applications et Simulation, N'djamena, Chad

²Ecole Nationale Supérieure des Technologies de l'Information et de la Communication (ENASTIC), N'djamena, Chad

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: Microwave filters are generally designed to operate in the frequency range from megahertz (MHz) to gigahertz (GHz). Filters are used in many applications such as broadcasting, television and wireless communications. Thus, these microwave devices need a filter that will decide which signals will be transmitted or received. Today, most designers still have difficulty in designing a filter that provides high performance, matched response, low weight and compact at the same time. In this paper, a dual mode band-pass filter is designed and simulated. The filter design was performed using stepped impedance resonator. The substrate used is Rogers RT5880 with a dielectric constant of 2.2 and a thickness of 787 μ m. The proposed topology have a total electrical length of 120° and a performance that gives a first spurious resonant frequency at 5.2 times the fundamental resonance frequency. We then incorporated the capacitive element C_3 into the topology of the band pass filter in order to achieve the design of the quasi elliptical band pass filter. Transmission zeros and a much narrower transition band are seen at the quasi-elliptical dual mode bandpass filter. The center frequency is at 1 GHz and there are two transmission zeros in S_{12} .

KEYWORDS: Filter, bandpass filter, Bi-mode, stepped impedance resonator (SIR), quasi-elliptical filter, miniaturized filter, spurious frequency.

RESUME: Les filtres hyperfréquences sont généralement conçus pour fonctionner dans la gamme de fréquences du Mégahertz (MHz) au Gigahertz (GHz). Les filtres sont utilisés dans de nombreuses applications telles que la radiodiffusion, la télévision et les communications sans fil. Ainsi, ces dispositifs hyperfréquences ont besoin d'un filtre qui décidera quels signaux seront transmis ou reçus. De nos jours, la plupart des concepteurs ont toujours du mal à concevoir des filtres qui permettent d'avoir une grande performance, une réponse adaptée, un faible poids une petite taille en même temps. Pour répondre à ces exigences, nous avons conçu et simulé, une nouvelle génération de filtres RF passe bande. La conception du filtre passe bande a été réalisée à l'aide de résonateur à saut d'impédance. Le substrat utilisé est le Rogers RT5880 avec un constant diélectrique de 2,2 et une épaisseur de 787 μ m. La topologie proposée a une longueur électrique totale de 120° et une performance qui donne une première fréquence de résonance parasite à 5,2 fois la fréquence de résonance fondamentale. La structure proposée est donc beaucoup plus compacte que la structure conventionnelle. Nous avons ensuite incorporé l'élément capacitif C_3 dans la topologie du filtre passe-bande afin de réaliser la conception du filtre passe-bande quasi elliptique. La réponse du filtre quasi elliptique est centrée autour de 1GHz et présente deux zéros de transmission.

MOTS-CLEFS: Filtre passe bande, Bi-mode, résonateur à saut d'impédance échelonné, filtre quasi-elliptique, filtre miniaturisé, fréquence parasite.

1 INTRODUCTION

Les filtres hyperfréquences sont de plus en plus utilisés de nos jours [1-10]. Il devient primordial de pouvoir le simuler avec précision avant la réalisation. Le filtre hyperfréquence est un composant qui fournit la sélectivité en fréquence dans les systèmes des communications mobile et par satellite, radar, électronique et de télédétection fonctionnant aux hyperfréquences. Réduire la taille et le volume du filtre a été le sujet principal des concepteurs de filtres. Le premier filtre bi-mode planaire a été proposé pour la première fois au début des années 1970 par Wolff [4]. Depuis lors, de nombreux travaux de recherche sur le filtre bi-mode ont été menés [5] - [13]. Les filtres bi-mode conventionnels sont réalisés en perturbant le champ électromagnétique (EM) des structures de résonateur en anneau de telle sorte que deux modes résonants orthogonaux apparaissent, avec une réponse en double mode [14] - [16]. En raison des caractéristiques résonantes inhérentes, la longueur électrique requise pour établir la condition résonante est de 360° . Cependant, on estime que la taille est encore trop grande et inacceptable pour la conception de filtres multipolaires à haute performance, en particulier dans les bandes de fréquences inférieures L ou C. Par conséquent, un résonateur à demi-longueur d'onde bi-mode a été introduit récemment où une ligne de transmission de longueur électrique de 180° avec une dérivation au milieu du plan est construite pour atteindre une réponse bi-mode [17], [18]. Un de problèmes importants concernant les résonateurs conventionnels à mode unique et bi-mode est que leurs fréquences parasites se produisent à des multiples entiers de la fréquence de résonance fondamentale. Cependant un filtre miniaturisé bi-mode à base de résonateur à saut d'impédance échelonné a été introduit [19] où une ligne de transmission d'une longueur électrique de 120° est construite avec un couplage d'inductance L en parallèle au point médian. Le filtre bi-mode permet une réduction significative de la taille.

Dans cet article, pour résoudre les problèmes de la taille et de l'adaptation, nous proposons des solutions à base de résonateur à saut d'impédance échelonnée. Les filtres RF passe-bande et quasi-elliptique à base de résonateur à saut d'impédance proposés sont beaucoup plus compacts et ont une bonne adaptation. Leurs fréquences parasites se produisent respectivement à 5,2 fois la fréquence centrale de résonance.

2 RÉSONATEUR À SAUT D'IMPÉDANCE

Un résonateur à saut d'impédance est un résonateur à mode électromagnétique transverse (TEM) ou quasi-TEM composé de deux ou plusieurs lignes de transmission de différentes impédances Z_i et de différentes longueurs électriques θ_i . La Fig.1 montre le modèle de circuit du résonateur bi-mode miniaturisé basé sur un résonateur à saut d'impédance. Cette topologie est une structure symétrique par rapport au plan DD', ce qui permet de déduire la condition de résonance en utilisant la méthode classique d'analyse en mode impair et pair, avec la ligne de symétrie comme plan de référence. Notons que Z_1 et Z_2 représentent les impédances caractéristiques des sections de ligne de transmission et leurs longueurs électriques θ_x et θ_y respectivement.

La structure résonne lorsque l'admittance du mode pair et impair est égale à zéro:

$$Y_{\text{impair}} = Y_{\text{pair}} = 0 \quad (1)$$

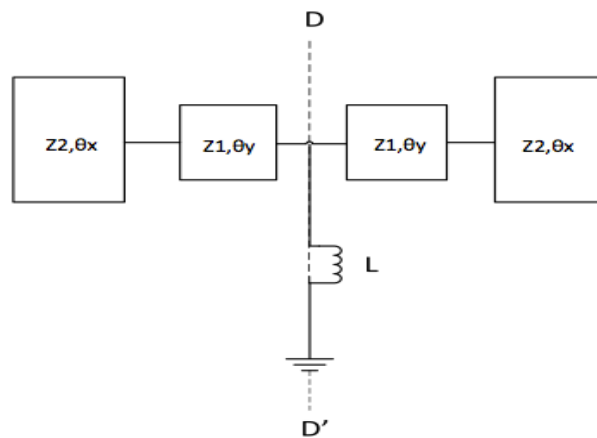


Fig. 1. Topologie du circuit de résonateur Bi-mode [19]

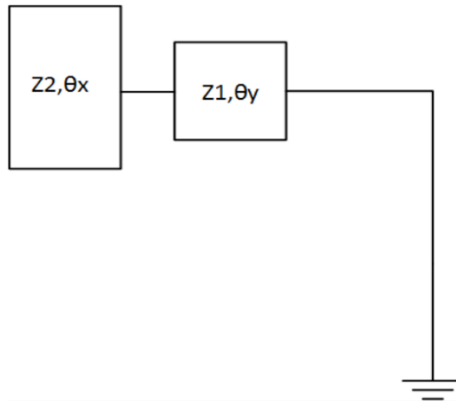


Fig. 2. Circuit excité en mode impair

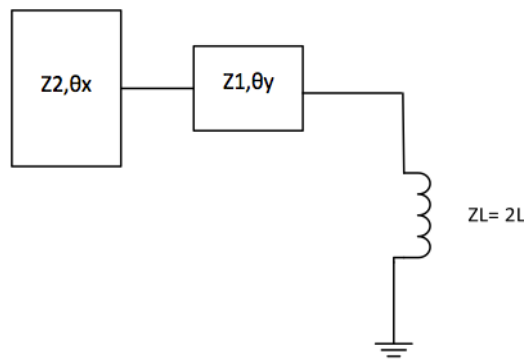


Fig. 3. Circuit excité en mode pair

L'analyse par excitation en mode impair implique que les potentiels opposés (tensions) sont appliqués à chaque extrémité du circuit (entrée et sortie). Le circuit équivalent est présenté sur la Fig.2. Il y a alors un court-circuit dans le plan de symétrie dont le circuit équivalent pour le mode impair est maintenant composé de deux sections de ligne de transmission avec des impédances caractéristiques Z_1 et Z_2 différentes.

L'admission d'entrée résultante pour le mode impair peut être calculée comme suit:

$$Y_{\text{impair}} = j \frac{\frac{Z_1}{Z_2} \tan(\theta x) \tan(\theta y) - 1}{Z_1 \tan(\theta x) + j Z_2 \tan(\theta y)} \quad (2)$$

La structure résonne quand l'admittance s'annule:

$$Y_{\text{impair}} = 0 \Rightarrow \tan(\theta x) \tan(\theta y) = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3)$$

En supposant que la longueur électrique des deux sections de ligne de transmission indiquées sur la Fig.3 sont les mêmes $\theta x = \theta y = \theta$, alors le mode impair résonne quand:

$$\tan(\theta x)^2 = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (4)$$

Il est montré avec le contrôle du rapport d'impédance $k = Z_2/Z_1$, la longueur électrique totale du résonateur $\theta_{\text{Total}} = 4\theta$ pourrait être bien inférieure à la moitié de la longueur d'onde à la fréquence de résonance. Pour l'expliquer plus clairement, en réglant $k=1/3$ et en utilisant l'équation (4), on peut voir sur la figure 4 que la longueur électrique totale du résonateur est de 120° . On peut aussi voir dans la même figure que la longueur du résonateur devient une demi-longueur d'onde lorsque le rapport d'impédance $k=1$ qui correspond au résonateur à une impédance uniforme ($\text{UIR} = 180^\circ$). Il convient

également de noter que la longueur du résonateur ne peut être réduite que si k est inférieur à 1 selon l'observation de la représentation graphique de l'équation (4), présentée à la figure 4.

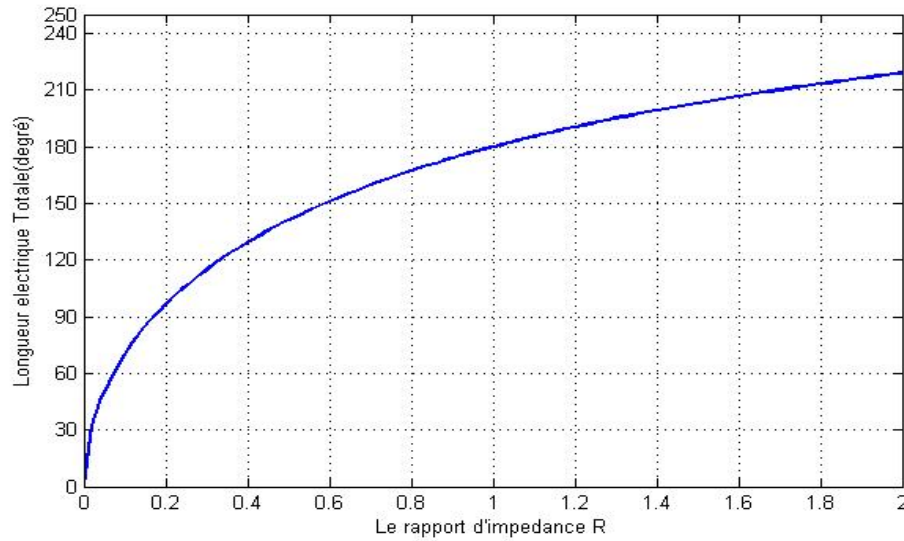


Fig. 4. Longueur électrique Total en fonction du rapport K

L'analyse par excitation en mode pair implique que les potentiels égaux (tensions) sont appliqués à chaque extrémité du circuit (entrée et sortie). Il y a alors un circuit-ouvert dans le plan de symétrie. Pour l'excitation par résonance en mode pair, la symétrie DD' sera ouverte, avec le circuit équivalent représenté sur la figure 3. Le circuit équivalent pour le mode pair est maintenant composé de deux sections de ligne de transmission avec des impédances caractéristiques Z_1 et Z_2 différentes et se termine par une inductance de charge.

$$Y_{pair} = j \frac{\frac{Z_1}{Z_2} \tan(\theta_l + \theta_y) \tan(\theta_y) - 1}{Z_1 \tan(\theta_l + \theta_y) + Z_2 \tan(\theta_y)} \quad (5)$$

Posons $\theta L = a \cdot \theta y$ qui représente la longueur électrique de l'élément inductif court L , placée en parallèle au milieu des résonateurs. L'admission d'entrée pour le mode pair à la condition de résonance est donnée par:

$$Y_{pair} = 0 \Rightarrow \tan(\theta x) \tan(\theta y + \theta_l) = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (6)$$

La longueur électrique de la résonance en mode pair en fonction du paramètre " a " est montrée dans la Fig.5. On peut voir qu'avec une valeur finie de a , une sortie de résonance en mode pair résultant en une résonance en mode double. En choisissant une petite valeur de " a ", la résonance en mode pair est affichée fermée à la résonance en mode impair où la résonance en mode impair peut être identifiée à partir de la figure lorsque " a " est égale à zéro.

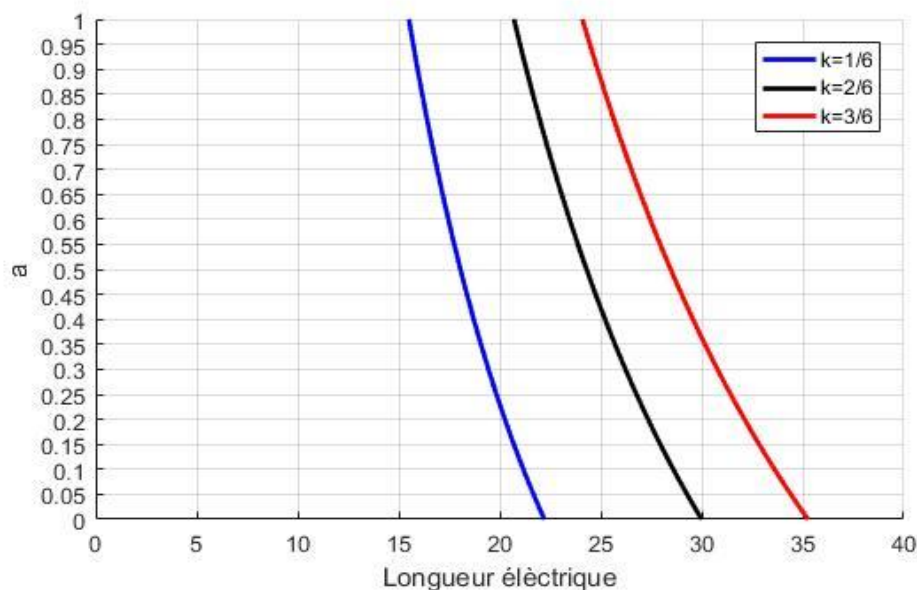


Fig. 5. Contrôle de 'a' sur la ligne de transmission

3 FRÉQUENCES DE RÉSONANCE PARASITE DU MODE BI-MODE À BASE DE RÉSONATEUR À SAUT D'IMPÉDANCE ÉCHELONNÉE

La performance de résonance parasite du prototype proposé est étudiée dans cette section. On considère que la réponse en mode dual avec un "a" de faible valeur et en supposant que la résonance de la bande passante fondamentale et la fréquence de résonance parasite la plus basse sont attendues en termes de f_0 et de f_s (équation (7)).

Exemple: Si le rapport d'impédance $k=1/3$, la première fréquence de résonance parasite se produit à environ 5 fois la fréquence fondamentale comme indiqué dans la Fig.6. Les fréquences de résonance parasite ne sont pas égales aux multiples entiers de la fréquence de résonance fondamentale comme ce fut le cas du filtre conventionnel. La fréquence parasite se produit suffisamment loin de la fréquence fondamentale.

$$F_n = \frac{f_s}{f_0} = \frac{\pi - \theta}{\theta} \quad (7)$$

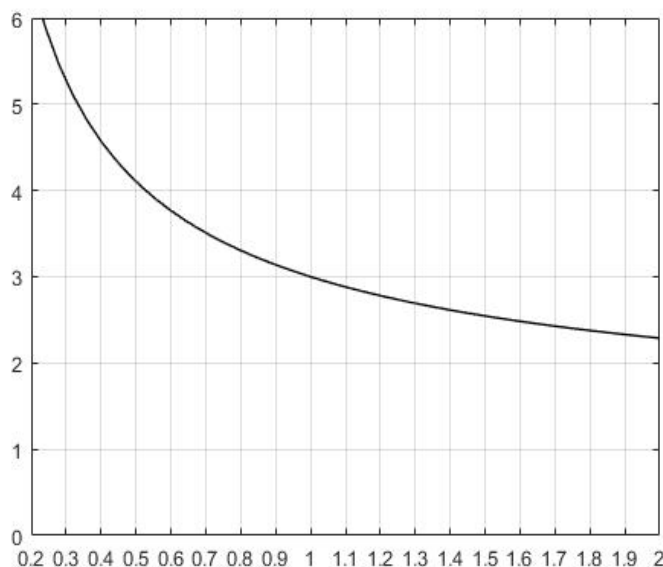


Fig. 6. Distance entre la fréquence principale et les fréquences parasites

4 FILTRE RF PASSE BANDE À BASE D'UN RÉSONATEUR À SAUT D'IMPÉDANCE ECHELONNE

Les capacitances C_1 et C_2 sont incorporées dans la topologie du résonateur à saut d'impédance décrit dans la section 1 afin de réaliser la conception du filtre passe bande. Par conséquent, le nouveau type de structure du filtre est représenté dans le circuit de la Fig. 7.

On peut voir dans la Fig. 7 que les deux côtés des basses sections de Z, gauche et droit, ont une longueur électrique θx et une impédance caractéristique Z_2 . Les deux côtés des hautes sections de Z, gauche et droit, ont une longueur électrique de θy et une impédance caractéristique Z_1 . Le résonateur est chargé avec une masse de couplage de l'élément 'L' où l'inducteur en parallèle connecté au point médian de la section de ligne de transmission. Le couplage capacitif (C_1 et C_2) permettra le réglage de couplage entre les deux résonateurs.

Il faut noter aussi que le réglage du couplage conditionne la forme de sa réponse et sa fonction de transfert. Les éléments du filtre se déterminent de la même manière que les éléments du résonateur à saut d'impédance de la section précédente.

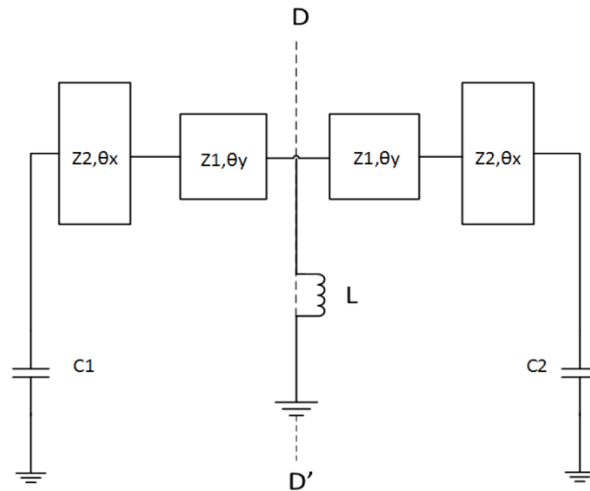


Fig. 7. Topologie du Filtre RF Passe Bande à base Bi-mode à base de résonateur à saut d'impédance

4.1 SIMULATION ET RÉSULTATS DU FILTRE RF PASSE BANDE BI-MODE

Le filtre passe-bande à base de résonateur bi-mode à impédance échelonnée a été conçu sur un substrat Rogers RT/Duroid 5880, avec un constant diélectrique de 2,2 et une épaisseur de $787\mu\text{m}$. Les simulations ont été effectuées sous ADS. La courbe en bleu représente le coefficient de transmission S_{21} et la courbe en rouge représente le coefficient de réflexion qui est aussi le paramètre S_{11} . D'après cette courbe, on remarque clairement que le filtre présente un dual-mode à la fréquence centrale supérieure à 27 dB. Cette atténuation définit une transmission quasi sans perte avec une largeur de bande de 3%. La modélisation (layout) du filtre sous momentum est représentée sur la figure 9.

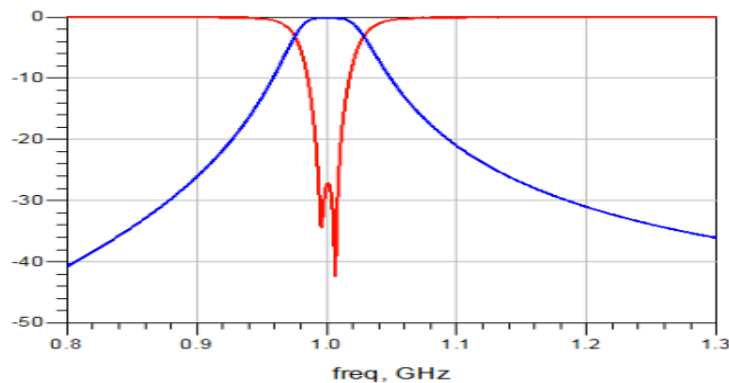


Fig. 8. Réponse du filtre RF Passe bande à base de résonateur à saut d'impédance échelonné

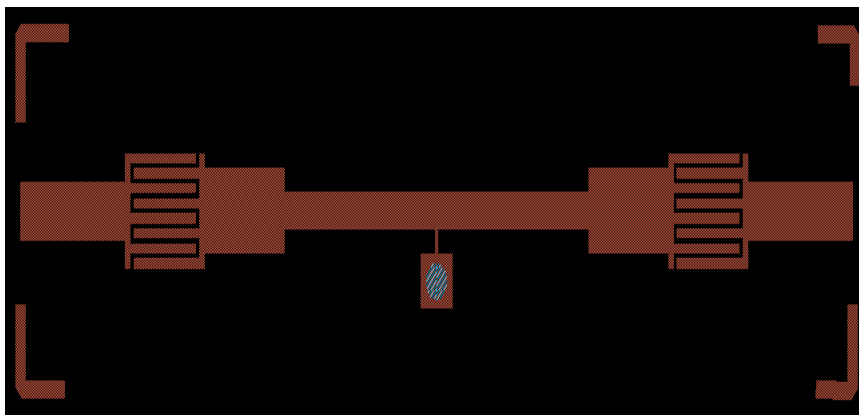


Fig. 9. Layout du filtre RF passe bande bi-mode

5 FILTRE QUASI ELLIPTIQUE À BASE D'UN RESONATEUR À SAUT D'IMPEDANCE ÉCHELONNÉE

Dans cette section, l'élément capacitif C_3 est incorporé dans la topologie du filtre passe bande de la section 4 afin de réaliser la conception du filtre passe bande quasi elliptique. Par conséquent, le nouveau type de structure de couplage capacitif du filtre est représenté sur la Fig.10. Cette topologie est conçue pour être symétrique par souci de simplicité. On peut voir sur la Fig.10 que les deux côtés de basses sections de Z , gauche et droit, ont une longueur électrique θx et une impédance caractéristique Z_2 . Les deux côtés des hautes sections de Z , gauche et droit, ont une longueur électrique de θy et une impédance caractéristique Z_1 . Il y a aussi un inducteur au niveau de la ligne de symétrie. Un élément capacitif placé entre l'entrée et la sortie de la topologie.

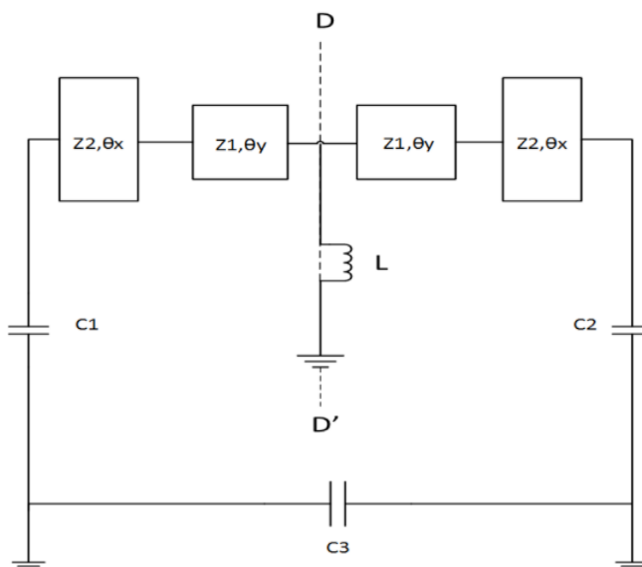


Fig. 10. Topologie du filtre Passe bande quasi elliptique à base de résonateur à saut d'impédance échelonné

5.1 RÉSULTAT DE LA SIMULATION DU FILTRE PASSE BANDE QUASI ELLIPTIQUE

La courbe en rouge représente le coefficient de réflexion qui est aussi le paramètre S_{11} . D'après cette courbe, on remarque le filtre présente un dual-mode à la fréquence centrale supérieure à -29 dB. Cette atténuation définit une transmission quasi sans perte avec une largeur de bande de 3%. La réponse du filtre présente une coupure très raide avec la présence de zéro de transmission à 0.87 GHz et 1.13 GHz.

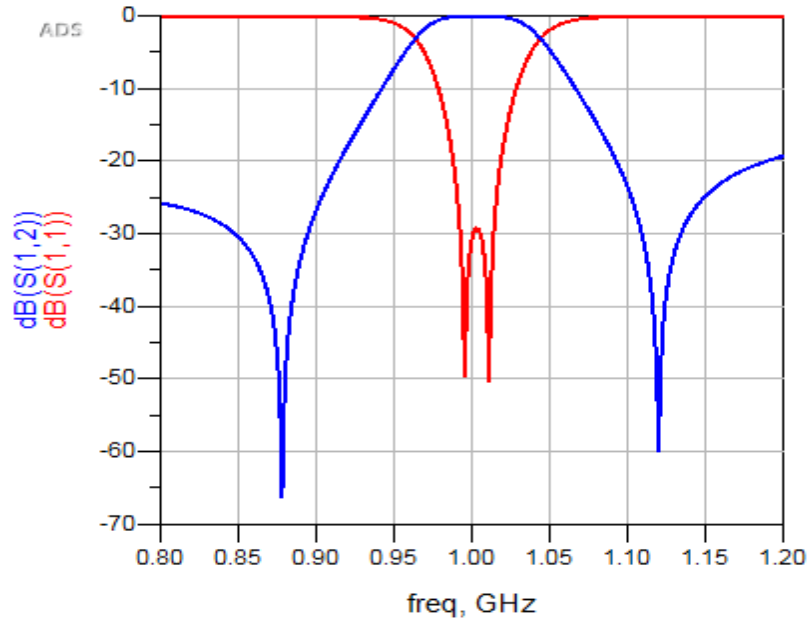


Fig. 11. Réponse du filtre passe bande quasi elliptique

6 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons étudié la conception de filtre passe bande bi-mode et quasi elliptique en utilisant le résonateur à saut d'impédance. L'analyse théorique du filtre passe bande bi-mode a été présentée. Contrairement à un résonateur en anneau bi-mode qui a une longueur électrique de 360° , Ce filtre présente une structure simple et une réduction de la taille du circuit. Un autre avantage est que les fréquences de résonance parasites de la topologie proposée ne sont pas égales aux multiples entiers de la fréquence de résonance fondamentale. Par conséquent, le filtre passe-bande bi-mode ne transmet sélectivement que le signal de la fréquence de résonance fondamentale lorsque ce résonateur est utilisé.

En outre, nous avons également utilisé le résonateur à saut d'impédance pour concevoir un filtre quasi-elliptique. La réponse du filtre bi-mode quasi elliptique est centrée autour de 1 GHz et il y a deux zéros de transmission dans S_{21} . Il existe également une réponse en bi-mode à la fréquence centrale affichée par S_{11} où l'ondulation donnée est supérieure

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'Université de N'Djamena, l'ENASTIC et la Banque Islamique de Développement pour leur appui financier dans ce projet.

REFERENCES

- [1] I.C. Hunter, Theory and Design of Microwave Filter, London, UK: IEEE, 2001, pp.49-134.
- [2] Andrea Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, Aug8, 2005, pp.1-19.
- [3] Guyette, A.C.; Hunter, I.C.; Pollard, R.D.; Jachowski, D.R., "Perfectly-matched bandstop filters using lossy resonators, " Microwave Symposium Digest, 2005 IEEE MTT-S International, vol., no., pp. 4 pp., 12-17 June 2005.
- [4] I. Wolff, "Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator, " Electron. Lett., vol. 8, no. 12, pp. 302-303, Jul.1972.
- [5] Peng Wen Wong; Hunter, I.C.; Pollard, R.D., "Matched bandstop resonator with tunable K-inverter, " Microwave Conference, 2007. European, vol., no., pp.664-667, 9-12 Oct. 2007.
- [6] Kaijun Song; Quan Xue, "Novel Broadband Bandpass Filters Using Y-Shaped Dual-Mode Microstrip Resonators, " Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, vol.19, no.9, pp.548-550, Sept. 2009.
- [7] Curtis, J.A.; Fiedziuszko, S.J., "Miniature dual mode microstrip filters, " Microwave Symposium Digest, 1991., IEEE MTT-S International, vol., no., pp.443-446 vol.2, 10-14 Jul 1991.
- [8] Zhu, L.; Wecowski, P.-M.; Wu, K., "New planar dual-mode filter using cross-slotted patch resonator for simultaneous size and loss reduction, " Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, vol.47, no.5, pp.650-654, May 1999.

- [9] Gorur, A., "A novel dual-mode bandpass filter with wide stopband using the properties of microstrip open-loop resonator, " *Microwave and Wireless Components Letters*, IEEE, vol.12, no.10, pp. 386- 388, Oct 2002.
- [10] Kin-Keong Sun; Kam-Weng Tam, "A novel compact dual-mode bandpass filter with meander open-loop arms, " *Microwave Symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International*, vol.3, no., pp. 1479- 1482 Vol.3, 6-11 June 2004.
- [11] Liu, J.C.; Lu, P.C.; Shie, C.H.; Cheng, C.S.; Yao, L., "Dual-mode double-ring resonators for microstrip band-pass-filter applications, " *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings -*, vol.151, no.5, pp. 430- 434, 20 Oct. 2004.
- [12] Lei Zhu; Boon Chai Tan; Siang Juay Quek, "Miniaturized dual-mode bandpass filter using inductively loaded cross-slotted patch resonator, " *Microwave and Wireless Components Letters*, IEEE, vol.15, no.1, pp. 22- 24, Jan. 2005.
- [13] Wen-Hua Tu; Kai Chang, "Miniaturized dual-mode bandpass filter with harmonic control, " *Microwave and Wireless Components Letters*, IEEE, vol.15, no.12, pp. 838- 840, Dec. 2005.
- [14] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. New York: Wiley, 2001.
- [15] Matthaei, G.L., "Interdigital, Band-Pass Filters, " *PGMTT National Symposium Digest*, vol.62, no.1, pp. 41- 45, May 1962.
- [16] Matthaei, G.L., "Interdigital Band-Pass Filters, " *Microwave Theory and Techniques, IRE Transactions on*, vol.10, no.6, pp.479-491, November 1962.
- [17] Ker Chia Lee, Hieng Tiong Su, and M. K. Haldar, "A Novel Compact Triple-Mode resonator for Microstrip Bandpass Filter Design, " *2010 APAC, Microw. Conf. Proc. (APMC)*, pp.1871-1874, 7-10 Dec. 2010.
- [18] Lugo C. and Jonh P., "Planar Realization of a Triple-Mode Bandpass Filter Using a Multilayer Configuration, " *IEEE Transactions on Microw. Theory and Techniques*. vol. 55, no. 2, pp. 296-301, Feb. 2007.
- [19] B. A. Adoum and W. P. Wen, "Miniaturized matched band-stop filter based dual mode resonator, " *2011 National Postgraduate Conference*, 2011, pp. 1-3, doi: 10.1109/NatPC.2011.6136440.

Analyse de la satisfaction au travail selon l'approche bifactorielle de Frédéric Herzberg: Etude menée à l'Office congolais de contrôle (OCC), GOMA

[Analysis of job satisfaction according to the bifactorial approach of Frédéric Herzberg: Study carried out at the Congolese control office (OCC), Goma]

Kasao Mutumay Dieudonne¹ and Mwamini Banga Scholastique²

¹Assistant de premier mandant, Université de Goma, RD Congo

²Assistant de premier mandant, Université de Goma, 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: Job satisfaction raises worrying questions these days that no business of any character can shy away from. This article also follows this perspective and focuses on the analysis of job satisfaction according to Herzberg's two-factor theory. Our concern is to know what are the main factors that provide satisfaction to the workers of the Congolese Control Office (OCC/GOMA). The objective here is to understand the main factors promoting satisfaction among all workers in this organization. In response to our concern, we estimated that the main factors promoting job satisfaction would be on the one hand: staff allocation, communication, working conditions, company organizational policy, salary (remuneration), job security, safety at work, human and technical supervision (extrinsic factors) and on the other hand: attractiveness to work, autonomy, authority, advancement in rank, the degree of responsibility, innovation as well as recognition (intrinsic factors) unlike Frederic Herzberg who stipulates in his theory of two factors that only the above-mentioned intrinsic factors provide satisfaction to workers. It remains to discover the results in the following pages.

KEYWORDS: Satisfaction, work, factor, intrinsic, extrinsic.

RESUME: La satisfaction professionnelle soulève de nos jours des questions préoccupantes auxquelles l'entreprise quelle que soit son caractère ne peut se dérober. Cet article s'inscrit aussi dans cette perspective et porte sur l'analyse de la satisfaction au travail selon la théorie de deux facteurs de Herzberg. Notre préoccupation est celle de savoir quels sont les principaux facteurs qui procurent de la satisfaction aux travailleurs et travailleuses de l'Office Congolais de Contrôle (OCC/GOMA). L'objectif ici étant d'appréhender les principaux facteurs favorisant la satisfaction chez l'ensemble de travailleurs de cette organisation. En réponse à notre préoccupation, nous avons estimé que les principaux facteurs favorisant la satisfaction au travail seraient d'une part: l'affectation du personnel, la communication, les conditions de travail, la politique de l'organisation de l'entreprise, le salaire (rémunération), la sécurité d'emploi, la sécurité au travail, la supervision humaine et technique (facteurs extrinsèques) et d'autre part: l'attrait au travail, l'autonomie, l'autorité, l'avancement en grade, le degré de responsabilité, l'innovation ainsi que la reconnaissance (facteurs intrinsèques) contrairement à Frédéric Herzberg qui stipule dans sa théorie de deux facteurs que seuls les facteurs intrinsèques ci-haut cités procurent la satisfactions chez les travailleurs. Reste à découvrir les résultats dans les pages ultérieures.

MOTS-CLEFS: Satisfaction, travail, facteur, intrinsèque, extrinsèque.

1 INTRODUCTION

La notion de satisfaction professionnelle soulève de nos jours des questions préoccupantes auxquelles l'entreprise quelle que soit son caractère ne peut se dérober.

La prise en considération de l'importance des ressources humaines et la gestion efficace de ces dernières doit être au centre des préoccupations particulières des chefs d'entreprises. Celle-ci dans le but de permettre une utilisation rationnelle et favorable des ressources humaines mais aussi de s'assurer qu'elle permet nécessairement le bon fonctionnement de l'entreprise et contribue à son développement.

La productivité d'une entreprise n'est pas seulement fonction d'un grand nombre du personnel mis à sa disposition, du débouché, du choix des méthodes à mettre en œuvre ou même d'une bonne gestion des ressources financières. Celle-ci ne peut aboutir que si les ressources humaines qui sont censées mettre en œuvre peu importe leur effectif, toutes les autres ressources ou fonctions de l'entreprise sont non seulement bien encadrées, bien formées ou même motivées mais plutôt lorsque chacun des employés est satisfait de son poste et surtout lorsque le rôle qu'il joue au sein de l'organisation lui convient.

Cette satisfaction ne vient pas du hasard, elle découle notamment de la bonne organisation et aussi la bonne gestion faite par les dirigeants de l'entreprise. La bonne organisation suppose tout d'abord l'attribution des postes et des tâches aux employés tout en tenant compte des aptitudes et des compétences de chacun.

Cette organisation ne doit pas se faire dépendamment de la volonté ou du simple vouloir des dirigeants comme c'est le cas dans la plupart d'entreprises d'ici chez nous à Goma telles qu'à l'OCC, à la DGDA où nous avons eu l'occasion de passer notre stage mais plutôt en tenant compte des exigences des postes mais également des capacités des employés.

Cependant, la satisfaction professionnelle ne se vit pas de la même manière pour tous les employés qu'ils soient d'une même entreprise ou d'entreprises différentes car, elle dépend de plusieurs facteurs tels que: les possibilités d'avancement, la reconnaissance, l'affectation du personnel, la rémunération, la sécurité, etc. Chacun des travailleurs présente une attitude qui lui est singulière par rapport aux différents aspects du travail, ce qui satisfait le travailleur X n'est pas nécessairement ce qui doit satisfaire le travailleur Y.

De cette conception, Davy, C. (2016, p.2) affirme que la satisfaction au travail peut être considérée comme un indicateur de la qualité perçue de vie au travail mais ne constitue en aucun cas un indicateur de qualité objective des emplois et situation au travail. Ainsi poursuit cet auteur, qu'une personne peut être plus satisfaite qu'une autre dans un contexte objectivement plus favorable si ses attentes sont plus faibles ou inférieur, inversement un niveau de satisfaction au travail plus faible qu'ailleurs peut refléter un niveau d'attentes plus élevé et non des conditions de travail moins bonnes.

Cette évaluation subjective détermine les intentions comportementales des individus au travail.

Il est important de souligner ici que la satisfaction dans la vie des employés est liée aux aspirations ou attentes de chacun vis-à-vis de l'entreprise. Les études menées en Europe soulignent que le niveau de satisfaction du personnel peut avoir un impact sur la motivation, performance des agents et le rendement de l'entreprise dans le sens où la satisfaction et tous ces éléments cités sont des concepts qui vont main dans la main. En effet, un employé satisfait de ses conditions de travail sera plus susceptible d'être motivé c'est-à-dire de s'engager dans son travail et d'offrir une meilleure prestation des services. A l'inverse, l'employé insatisfait de ses conditions de travail pourra ressentir une baisse de motivation qui pourrait entraîner une forme de désengagement qui, à son tour prédit généralement une moins bonne performance (Guylaine, 2015).

Le manque de satisfaction peut toutefois entraîner une baisse de la productivité, voire un arrêt total de celle-ci. Des mouvements de grève ont généralement pour origine une insatisfaction des salariés (Levy. 2002).

Certains auteurs comme Levy (2002), Deschamps (2015) se sont penchés sur la question de satisfaction professionnelle et se sont mis d'accord d'affirmer que les caractéristiques de la tâche sont les principales sources de satisfaction. Pour eux, les caractères stimulant de la profession jouent un grand rôle dans la satisfaction. Plus un travail sera varié, plus le salarié sera satisfait. Il en va de même pour l'autonomie: un contrôle permanent bloque la liberté d'action du salarié, ce qui peut apporter de la frustration à l'employé et conduire ce dernier à l'état d'insatisfaction.

Selon ZALEZNIK, A cité par MAOMBI. (2011, p.2), la satisfaction dans l'entreprise dépend des récompenses que l'agent obtient dans son milieu professionnel. L'élargissement du travail lui aussi augmente la satisfaction mais seulement si cet élargissement est accompagné par l'augmentation du salaire. Sinon, on observera une augmentation de l'insatisfaction.

Aujourd'hui, tout le monde admet que si les employés sont satisfaits, ils sont plus motivés et plus productifs et leur rendement accroît.

D'après une étude réalisée par Elodie B. (www.cadremploi.fr), la part des salariés satisfaits de leur emploi a chuté de 12%. En 2014, plus de la moitié (54%) de 700 employés interrogés par l'organisme de formation professionnelle « Cegos » considèrent que leur travail est une source de contraintes plus que d'épanouissement personnel. Dans la liste de leurs doléances, on peut parler du manque de retour de leurs managers sur la qualité de leur travail (37%), du manque de soutien dans leur évolution professionnelle (46%), et d'un manque d'autonomie dans leur travail (29%), 37% regrettent une mauvaise coopération entre les différentes directions de leur entreprise, 35% trouvent que leur manager ne sait pas réguler les tensions dans leur équipe. Rien d'étonnant à ce que moins d'un salarié sur deux (46%) se déclare motivé par son travail actuel. Face à ce problème, les salariés n'ont pas forcément la même réaction. 29% des employés vont continuer à s'impliquer autant dans leur travail sans se plaindre, malgré un niveau d'insatisfaction de plus en plus élevé. Plusieurs phénomènes sont observés dans les entreprises tels que: l'absentéisme, la baisse du rendement, le non implication effective dans l'organisation, baisse de motivation, etc. liés à l'absence de la satisfaction chez les employés.

Ce concept « satisfaction au travail » a déjà fait l'objet de plusieurs recherches dans le temps. Cependant, l'idée pour nous de traiter ce concept une autre fois découle de la préoccupation sociale particulière, celle de connaître les facteurs pouvant favoriser la satisfaction chez les employés de l'OCC.

La question de satisfaction au travail est devenue un phénomène qui n'épargne aucune des entreprises tant publiques que privées du monde entier et en particulier celles de la RDC, précisément de la ville de Goma. Les informations que nous avons puisées dans des recherches antérieures concernant ce concept de satisfaction au travail sur les facteurs de la satisfaction au travail mais aussi les déclarations et différentes plaintes de certains employés de l'OCC nous ont amené à nous poser la question ci-après: quels sont les principaux facteurs qui procurent de la satisfaction aux travailleurs et travailleuses de l'OCC/ GOMA ?

Le présent article a pour objectif: identifier les principaux facteurs favorisant la satisfaction chez l'ensemble de travailleurs de l'OCC/Goma.

En nous référant à la définition de Depleteau (2000, p. 162) selon laquelle une hypothèse est une réponse provisoire à une question de départ issue de la théorie dans une démarche hypothético-déductive, nous avons répondu d'une manière provisoire à notre question de départ en disant que les principaux facteurs favorisant la satisfaction au travail seraient d'une part: l'affectation du personnel, la communication, les conditions de travail, la politique de l'organisation de l'entreprise, le salaire (rémunération), la sécurité d'emploi, la sécurité au travail, la supervision humaine et technique (facteurs extrinsèques) et d'autre part: l'attrait au travail, l'autonomie, l'autorité, l'avancement en grade, le degré de responsabilité, l'innovation ainsi que la reconnaissance (facteurs intrinsèques) contrairement à Frédéric Herzberg qui stipule dans sa théorie de deux facteurs que seuls les facteurs intrinsèques ci-haut cités procurent la satisfactions chez les travailleurs.

Etant donné que toute étude scientifique doit susciter un intérêt, nous situons celui de la nôtre à deux niveaux: sur le plan théorique, ce travail pourrait fournir aux chercheurs qui aimeraient travailler dans ce domaine, des informations nécessaires sur les facteurs de satisfaction au travail. Sur le plan pratique, les résultats de notre recherche offre un instrument de base aux responsables des entreprises publiques ou privées, lequel instrument leur permettrait d'avoir une vue d'ensemble sur les facteurs possibles pouvant procurer de la satisfaction au travailleurs, ce qui éviterait aux entreprises les conséquences du non satisfaction au travail.

Pour réaliser ce travail, nous nous sommes intéressés au personnel de l'Office Congolais de Contrôle de Goma. Sur un effectif total de 122 agents, nous avons travaillé avec 46 retenus occasionnellement. Pour collecter les informations, nous avons utilisé un inventaire de la satisfaction au travail de Larouche et Delorme tandis que le dépouillement et le traitement des données ont été réalisés par le logiciel SPSS.

Mises à part l'introduction et la conclusion, cet article s'articule sur trois points principaux, le premier point porte sur les considérations générales, le deuxième point porte sur l'approche méthodologique et en fin, le troisième point nous présente les résultats.

2 CONSIDERATIONS GENERALES

Dans ce premier point, il nous revient de définir le concept de base qui va nous aider à comprendre le sens de notre étude. Il s'agit du concept « satisfaction ». Ensuite, nous passerons en revue quelques théories développées par certains auteurs en ce qui concerne la satisfaction au travail.

2.1 LA SATISFACTION

2.1.1 DÉFINITIONS

Soulignons d'emblée qu'il n'existe pas de consensus sur la définition de la satisfaction. Evidemment, cela ne facilite pas la tâche d'une entreprise qui désire évaluer le degré de satisfaction de ses employés. Néanmoins, il est possible de dégager quelques définitions de la satisfaction.

La satisfaction se définit comme une action de satisfaire, de contenter. Un état de contentement et de joie qui résulte de l'accomplissement de ce qu'on attendait (Larousse, 2010).

Selon A. COHEN (1968, p. 55), la satisfaction est l'état émotionnel qui résulte de la correspondance entre ce que la personne attend de son travail et ce qu'il espère en retirer.

- «La satisfaction est fondée sur une comparaison de la performance perçue du service avec un standard préétabli» (Sylvie Liosa, 1997).
- «La satisfaction est le résultat d'un processus de comparaison psychique et complexe» (Boris, B. 1999).
- «La satisfaction est un état psychologique mesurable et consécutif à une expérience de consommation» (Yves Evrard, 1993).

Ce qui découle de ces définitions est que la satisfaction est basée sur des perceptions et des attentes.

La satisfaction professionnelle quant à elle peut se définir comme étant un état émotionnel agréable ou positif découlant de l'impression favorable que l'on tire de son travail ou de ses expériences professionnelles (Werther, J. 1990, p. 57). Ce même auteur nous définit l'insatisfaction en disant que c'est un état de frustration ou de déception lié au cycle de vie du désir.

Larouche et Delorme (1972) ont fait un effort de clarification conceptuelle du phénomène de la satisfaction au travail et ont proposé un devis pouvant faciliter l'élaboration d'un instrument de mesure de la satisfaction au travail. Suite à leurs recherches, ils ont émis une définition opérationnelle de la satisfaction au travail. Cette définition apporte un élément nouveau sur la notion de satisfaction au travail. Ils abordent dans leur définition un élément de comparaison avec une situation présente, la gratification, et un besoin, qui lui a pris naissance dans le passé. Voici comment ils conçoivent la satisfaction au travail: « D'une façon générale, lorsqu'un répondant manifeste sa satisfaction, c'est qu'un besoin ou un (désir) qui avait pris naissance dans le passé (antérieurement au moment où l'individu se voit questionné) se trouve maintenant gratifié. Ainsi, l'individu doit nécessairement comparer une situation passée avec une situation présente. Par contre, le répondant qui indique un certain degré d'insatisfaction, doit nécessairement comparer une situation passée et présente pour se rendre compte que son besoin ou désir n'est pas encore comblé. En d'autres mots, il compare sa situation présente avec un but ou un désir qui ne pourra être comblé ou atteint que dans un certain futur. Bref, la satisfaction est le résultat de la gratification (présente) d'un besoin né antérieurement, tandis que l'insatisfaction est le résultat d'un besoin également né antérieurement mais non gratifié, tel que l'individu le souhaiterait.

Lofquist et Dawis (1978) apportent une description détaillée des sources de satisfaction en suggérant trois grandes catégories:

- 1) Celles qui sont liées à l'environnement matériel: sécurité et confort;
- 2) Celles qui dépendent du milieu social: expansion et altruisme;
- 3) Celles qui relèvent directement de soi et de l'activité: réussite et autonomie

Les auteurs poussent encore plus loin la compréhension du phénomène en subdivisant encore ces mêmes valeurs en classe:

- a) Compétitivité: sécurité, expansion, réussite et
- b) Non compétitivité: confort, altruisme et autonomie.

2.1.2 DIFFÉRENCE ENTRE SATISFACTION ET MOTIVATION

La satisfaction se définit comme une action de satisfaire, de contenter. Un état de contentement et de joie qui résulte de l'accomplissement de ce qu'on attendait (Larousse, 2010). Selon A. COHEN (1968, p. 55), la satisfaction est l'état émotionnel qui résulte de la correspondance entre ce que la personne attend de son travail et ce qu'il espère en retirer.

La motivation quant à elle se définit comme l'ensemble de facteurs déterminant l'action et le comportement d'un individu pour atteindre un objectif ou réaliser une activité. C'est la combinaison de l'ensemble des raisons conscientes ou non, collectives et individuelles, qui incitent l'individu à agir au sein d'un groupe (www.jobintree.com: Larousse).

- La satisfaction se ressent après la motivation, elle en est une des résultats au cas où il y a eu réalisation de certaines attentes;
- La satisfaction est liée aux émotions, la motivation aux besoins selon Abraham Maslow;
- La satisfaction est un indicateur de la motivation et non une cause de celle-ci;
- La satisfaction découle de l'expérience alors que la motivation elle, se situe en amont de l'expérience, elle est même le type particulier de l'expérience, celle que nous vivons quand nos attentes se réalisent.

2.2 THEORIES SUR LA SATISFACTION

Les théories réalisées sur la satisfaction au travail chez certains auteurs comme Herzberg et al. (1959) traitent la satisfaction au travail et la motivation au travail de façon presque équivalente. Il s'avère cependant que ces deux concepts font référence à des données différentes. Même s'il est difficile de cerner ce qu'est la motivation au travail, (Madsen 1974), il est possible de définir la motivation comme étant ce qui pousse à l'acte (Larouche et Delorme 1972; Young, 1961). Par contre, la satisfaction est un résultat qui se situe au terme de l'acte posé. Cette conception rejoint celle d'Atkison et Feather (1966) et de Wolf (1970) pour qui la satisfaction constitue un état final et la motivation une force qui mène à la réalisation de cet état final.

La satisfaction au travail n'est, par ailleurs pas perçue comme étant la seule, ni la principale cause pouvant motiver à offrir un bon rendement, contrairement à ce que peuvent laisser supposer certains tenants du courant des relations humaines (Strauss 1968) et certaines affirmations de Herzberg et al. (1959). Précision également que les besoins reliés au travail et que la valeur du travail sont des concepts provoquant des réactions quant à la satisfaction au travail. Ce sont des définitions de Maslow (1954) et Murray (1958) qui attirent l'attention en ce sens.

Ces précisions ayant été apportées, il est maintenant possible de tenter de préciser ce qu'est la satisfaction au travail. Mais encore, il convient de noter qu'il existe plusieurs définitions différentes de ce concept. Notre recherche ne vise pas à énumérer toutes les définitions possibles. Voici donc quelques-unes qui ont retenu notre attention.

Pour Viteles (1953), sous le vocable de « moral » parle d'une attitude de satisfaction de l'emploi avec le désir de le poursuivre, la volonté de lutter pour les buts d'un groupe, d'une organisation.

Locke (1976) quant à lui définit la satisfaction en évitant les conséquences comportementales: « un état affectif positif résultant de l'appréciation de l'emploi ou des expériences liées à l'emploi.

Par ailleurs, Herzberg et les nombreux psychologues qui l'ont succédé disent que la satisfaction au travail ne dépend pas des facteurs « extrinsèques » comme le salaire, les relations avec les supérieurs ou les collègues ou l'organisation, etc., mais de facteurs « intrinsèques » comme la nature des tâches, les possibilités qu'elles offrent d'utiliser et de parfaire ses capacités de tout ordre y compris le sens de responsabilité, les marques de reconnaissances, les possibilités de promotion, etc. Cette interprétation implique le caractère unidimensionnel des effets attribuables aux « facteurs » de Herzberg, soit que seules les dimensions intrinsèques influencent la satisfaction et que seules les dimensions extrinsèques influencent l'insatisfaction. Cette formulation de la théorie de Herzberg, comporte donc une imprécision majeure, soit celle de ne pas dégager des postulats clairement établis (Ewen et al. 1966; Graen, 1966, House et Wigdor, 1967). Ainsi, Herzberg n'émet pas la possibilité pour un travailleur d'être satisfait par un facteur autre qu'un facteur de type intrinsèque. Cette théorie s'avère donc limitative.

Toujours concernant cette théorie bi-factorielle, Herzberg (1966), dans une étude sur le comportement au travail, a stipulé qu'il existe des facteurs de satisfaction au travail. De ces facteurs, certains sont valorisants et les autres sont ambiants. Les facteurs valorisants sont liés aux facteurs intrinsèques et les facteurs ambiants sont reliés aux conditions de travail.

2.2.1 LA THÉORIE BI FACTORIELLE DE HERZBERG (1959)

Cette théorie appelée également la théorie de « deux facteurs » a été développée par Frederick Herzberg et stipule que la satisfaction au travail et l'insatisfaction au travail agissaient de manière indépendante. Ainsi, le contraire de la satisfaction n'est pas l'insatisfaction mais l'absence de la satisfaction. Il est donc possible pour un employé d'être à la fois satisfait et insatisfait dans son travail. Herzberg tente de repérer les éléments facteurs de satisfaction et d'insatisfaction au travail. Il en décèle deux types:

- Les facteurs d'ambiance ou d'hygiène (bruit, chaleur, salaire, statut, relations humaines, ...), ils sont relatifs aux conditions de travail et doivent avoir un niveau de base. Si les conditions sont en dessous de ce niveau minimal, le travail s'en ressent mais la productivité n'est pas influencée à la hausse si les conditions de travail sont supérieures au niveau de base. Ces conditions doivent être remplies pour ne pas générer l'insatisfaction. Selon ce modèle, les facteurs valorisants produisent de la satisfaction et les facteurs d'ambiance de l'insatisfaction.

- Les facteurs valorisants ou motivateurs (évolution de carrière, responsabilité, autonomie, ...), ceux-ci correspondent aux besoins supérieurs de Maslow, ils sont intrinsèques au travail et relèvent de l'épanouissement de l'individu. Une fois les facteurs d'hygiène assurés, les facteurs de motivation peuvent être remplis pour générer de la satisfaction, Antonin GAUNAND (m. Wikipédia. Org, 2018).

Tableau 1. Facteurs à la base de la satisfaction professionnelle selon Herzberg

FACTEURS VALORISANTS/ Intrinsèques	FACTEURS AMBIANTS/ Extrinsèques
• Les accomplissements • La reconnaissance des accomplissements • Le travail proprement dit • La responsabilité • La promotion ou l'avancement • La possibilité de développement	• Le supérieur • La politique et l'administration • La sécurité de l'emploi • Les conditions de travail • Les relations avec les collègues, les subordonnés et les supérieurs • La vie personnelle • La rémunération • Le prestige

Halpen (1966) a par ailleurs confirmé que les facteurs intrinsèques sont ceux qui entretiennent les meilleurs liens avec une mesure générale de satisfaction.

Lahiri (1966) quant à lui dit avoir trouvé que les facteurs intrinsèques agissent à la fois sur la satisfaction et sur l'insatisfaction. Il n'affirme cependant pas que l'ensemble de « facteurs » intrinsèques contribue plus à la satisfaction qu'à l'insatisfaction et que l'ensemble des « facteurs » extrinsèques favorise plus de l'insatisfaction que la satisfaction.

Foucher (1980) suggère à cette question: « la satisfaction au travail est composée d'une série de réactions personnelles spécifiques à l'égard de différents éléments de la situation de travail. Ces réactions sont fonction de la rencontre entre les besoins de l'individu et les incitations de la situation de travail. Dans le cas où cette rencontre s'effectue, un état général de bien-être est engendré ».

Cette définition, telle que mentionnée par l'auteur, en plus de se rattacher au courant de recherche qui conçoit la satisfaction au travail comme étant fonction de besoins, comporte aussi trois autres caractéristiques importantes. Elle établit que la satisfaction au travail est une résultante, un état. De plus, elle reconnaît un caractère multidimensionnel à la satisfaction au travail. Enfin, elle postule qu'il existe un lien entre les différentes dimensions de la satisfaction au travail et un indice général de satisfaction, défini comme un état de bien-être. Ce dernier a réalisé une recherche auprès d'enseignants de niveau collégial. Les cotes de satisfaction exprimées par les enseignants rejoins dans cette recherche sont mises en relation avec la théorie de Herzberg. Une des hypothèses que l'auteur a formulée à cet égard fut que « les professeurs rejoins expriment plus la satisfaction à l'égard des facteurs intrinsèques qu'ils en expriment à l'égard des facteurs extrinsèques ». Cette hypothèse découle de la théorie de Herzberg.

2.2.2 THÉORIE DE KING (1970)

Tableau 2. Facteurs de satisfaction professionnelle selon King

FACTEURS VALORISANTS	FACTEURS D'AMBIANCE
• Les accomplissements • La reconnaissance des accomplissements • Le travail proprement dit • La responsabilité • La promotion ou l'avancement • La possibilité d'avancement	• Le supérieur • La politique et l'administration • La sécurité de l'emploi • Les conditions de travail • Les relations avec les collègues; les subordonnés et les supérieurs • La rémunération • Le prestige • La vie professionnelle

On constate que King (1970) a repris en intégralité les facteurs de Herzberg (1959), cependant, il nuance la formulation en y ajoutant le mot « combiné ». Ce qui signifie qu'il ne suffit pas d'un ou de quelques facteurs pour conduire à la satisfaction ou à l'insatisfaction, mais bien tous les facteurs intrinsèques combinés et tous les facteurs extrinsèques combinés.

2.2.3 THÉORIE DE WOLF (1970)

Wolf (1970) fonde sa théorie sur la hiérarchisation des besoins de Maslow (1954), cependant, il l'associe à la théorie de Herzberg. Il établit de façon significative, une distinction entre éléments intrinsèques et éléments extrinsèques de satisfaction au travail. Les éléments intrinsèques correspondent aux besoins supérieurs et les éléments extrinsèques aux besoins inférieurs. Cependant, il affirme que les éléments intrinsèques et les éléments extrinsèques peuvent à la fois apporter de la satisfaction ou de l'insatisfaction. Cette théorie de Wolf ne précise pas quels sont les liens entre éléments intrinsèques, éléments extrinsèques et indice général de satisfaction au travail. De plus, il ne fait pas de distinction entre motivation et insatisfaction.

Il convient de signaler que la plupart des recherches sur la satisfaction au travail ont déterminé que les principales causes de satisfaction ou d'insatisfaction sont reliées aux facteurs intrinsèques ou aux facteurs extrinsèques. Voici à titre d'exemple une liste non exhaustive des facteurs qui ont été effectivement les plus souvent mentionnés. Il s'agit de: l'accomplissement, les possibilités d'avancement, la tâche, l'autonomie, la reconnaissance, la variété, la rétroaction, la sécurité, le besoin d'estime, le salaire, pour ne citer que ceux-là.

Dans notre étude, nous cherchons à découvrir les facteurs qui procurent le plus la satisfaction chez les travailleurs et travailleuses de l'Office Congolais de Contrôle (OCC/GOMA) en nous basant sur la théorie de deux facteurs de Herzberg car selon cet auteur, c'est l'ensemble de facteurs intrinsèques qui favorisent la satisfaction des travailleurs.

3 CADRE METHODOLOGIQUE

Ce point décrit les principales activités entourant la réalisation de cette recherche. Il décrit le protocole de recherche précisant l'opérationnalisation de la démarche, la population et l'échantillon de la recherche, l'instrument de collecte, la méthode de la collecte des données, les techniques d'analyse de données, le traitement des données ainsi que l'interprétation des résultats.

3.1 POPULATION ET ECHANTILLON D'ETUDE

3.1.1 POPULATION D'ÉTUDE

Parmi les groupes du secteur public, les travailleurs de l'Office Congolais de Contrôle de la Direction provinciale du Nord-Kivu furent retenus en fonction du nombre et de la diversification des fonctions occupées. En effet, ces travailleurs, dont le bureau provincial se situe dans la ville de Goma, commune de Goma, quartier le Volcan sur l'avenue du Gouverneur n°26, sont au nombre de cent vingt-deux (122). Tout ce personnel travaille à temps plein. Ils sont de tous âges et ont cumulé un certain nombre d'ancienneté.

3.1.2 ECHANTILLON D'ÉTUDE

Il est a priori peu probable d'obtenir des réponses de toute la population travaillant à l'Office congolais de contrôle. Cependant, ils sont tous retenus pour les fins de cette étude car ils répondent aux critères suivants: être des individus de sexe féminin ou masculin, travailler à temps plein pour l'organisation et se situer dans les trois catégories des agents: exécution, collaboration, commandement. Sur cent vingt-deux (122) travailleurs et travailleuses, quarante- six ont répondu d'une manière occasionnelle au questionnaire, vingt-huit hommes (28) soit 61% et dix-huit femmes (18) soit 39%.

Tableau 3. Répartition de l'échantillon selon le sexe

<i>Sexe</i>	<i>Effectif</i>	<i>%</i>
<i>Masculin</i>	28	61
<i>Féminin</i>	18	39
<i>Total</i>	46	100

La lecture de ce tableau nous montre que 61% de nos enquêtés sont du sexe masculin contre 39% du sexe féminin.

Tableau 4. Répartition de l'échantillon selon l'âge

<i>Tranches d'âge</i>	<i>Effectif</i>	<i>%</i>
<i>De 30 à 40 ans</i>	<i>24</i>	<i>52</i>
<i>De 41 à 50 ans</i>	<i>11</i>	<i>24</i>
<i>De 51 à 64 ans</i>	<i>11</i>	<i>24</i>
Total	46	100

Au vu de ce tableau, il se dégage que 52% des cas ont la tranche d'âge se trouvant entre 30 et 40 ans; 24% des cas ont l'âge situé entre 51 et 64ans et en fin 24% des cas dont la fourchette d'âge se trouve entre 41 et 50 ans.

Tableau 5. Distribution de l'échantillon selon le niveau d'étude

<i>Niveau d'étude</i>	<i>Effectif</i>	<i>%</i>
<i>Diplôme d'Etat</i>	<i>10</i>	<i>22</i>
<i>Gradués</i>	<i>9</i>	<i>19</i>
<i>Licenciés</i>	<i>27</i>	<i>59</i>
Total	46	100

L'examen de ce tableau nous montre que 59% de nos enquêtés sont des licenciés; 22% sont des diplômés d'Etat et 19% sont des gradués.

Tableau 6. Répartition de l'échantillon selon la fonction occupée par catégorie

<i>Fonction occupée</i>	<i>Effectif</i>	<i>%</i>
<i>Agents d'exécution</i>	<i>16</i>	<i>35</i>
<i>Agents de collaboration</i>	<i>19</i>	<i>41</i>
<i>Agents de commandement</i>	<i>11</i>	<i>24</i>
Total	46	100

Il ressort de ce tableau que 41% sont des agents de collaboration; 35% sont des agents d'exécution et enfin 24% sont des agents de commandement.

Tableau 7. Répartition de l'échantillon selon l'ancienneté des agents au sein de l'entreprise

<i>Ancienneté</i>	<i>Effectif</i>	<i>%</i>
<i>1- 10 ans</i>	<i>24</i>	<i>52</i>
<i>11- 20 ans</i>	<i>16</i>	<i>35</i>
<i>21 ans et plus</i>	<i>6</i>	<i>13</i>
Total	46	100

Il se dégage de ce tableau que 52% des cas ont une ancienneté variant entre 1 an à 10ans, 35% des cas avec une ancienneté variant entre 11ans à 20 ans et enfin 13% des cas avec une ancienneté qui varie de 21ans et plus.

3.2 COLLECTE DES DONNEES

Ce point concernant la collecte des données a pour but de décrire les principales étapes préalables à la collecte des données. La première étape est celle de préparation, qui constitue la phase où il y a eu entente avec le service du personnel de l'Office congolais de contrôle afin que se concrétise l'enquête. La seconde étape est celle d'administration du questionnaire destiné à l'enquête.

La méthode « statistique descriptive » fut privilégiée pour effectuer l'analyse de cette recherche. Cette méthode offre l'avantage de réaliser adéquatement l'analyse descriptive des observations recueillies par l'intermédiaire du questionnaire dans un échantillon donné. Elle offre, de plus, l'avantage de permettre le traitement quantitatif des variables qui sont exprimées numériquement, (Lise Tremblay-Barrette, 1990, p. 87).

Pour collecter nos données, nous avons recouru à un questionnaire d'enquête, une échelle de l'inventaire de satisfaction au travail de Larouche et Delorme.

L'analyse des données concernant notre recherche a été réalisée grâce au logiciel SPSS.

Signalons que notre questionnaire est fait à base des questions d'échelle de genre: satisfait, peu satisfait, pas du tout satisfait, très satisfait et extrêmement satisfait, lesquelles questions sont élaborées dans un tableau d'inventaire de la satisfaction au travail conçu par Larouche et Delorme (1975) et émanant de la théorie bi-factorielle sur la satisfaction au travail de Frederik Herzberg. Ces questions laissent la latitude au sujet de se choisir la proposition qui correspond à son opinion concernant les différents aspects de son travail et permettent de mesurer la satisfaction au travail des travailleurs, concept clés et en même temps objectif de notre recherche.

Le questionnaire « Inventaire de Satisfaction au Travail » « IST) de Larouche et Delorme (1980) dans la nouvelle version révisée par l'auteur se divise en deux parties. La première partie comprend les caractéristiques de l'échantillon qui correspondent aux variables indépendantes. Les variables indépendantes retenues sont: le sexe, l'âge, la scolarité, la fonction occupée et l'ancienneté. La seconde partie de l'IST a été utilisée intégralement. Elle est composée de dix-huit (18) échelles. Les échelles constituent les facteurs de satisfaction au travail retenus par les auteurs. Les échelles 1, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16 et 17 correspondant aux facteurs extrinsèques et les échelles 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 et 18 correspondant aux facteurs intrinsèques.

Lors du dépouillement des résultats, afin de déterminer le niveau de satisfaction et le niveau d'insatisfaction sur les différents facteurs de la satisfaction dont nous propose l'inventaire de la satisfaction au travail de Larouche et Delorme, nous avons regroupé les occurrences en deux niveaux: pas du tout satisfait, peu satisfait formant le niveau d'insatisfaction avec comme code 0 et satisfait, très satisfait et extrêmement satisfait formant le niveau de satisfaction et représenté par le code 1.

Nous avons utilisé la technique de pourcentage dans le tableau avec explication du contenu. Le traitement et l'analyse des données ont été réalisés grâce au logiciel SPSS.

4 RESULTATS DE L'ETUDE

La présentation et l'analyse des résultats comportent des divisions correspondant à l'objet traité dans cette recherche et par voie de conséquence à l'hypothèse formulée. Plus spécifiquement, ce chapitre présente les résultats obtenus au terme de l'enquête faite auprès de la population concernant les facteurs principaux à la base de la satisfaction au travail. Il démontre ainsi les résultats de la satisfaction exprimée aux différents facteurs de l'IST (Inventaire de Satisfaction au Travail).

4.1 RESULTATS DE LA SATISFACTION AU TRAVAIL EXPRIMEE PAR LES ENQUETES SUR L'ENSEMBLE DE FACTEURS

Tableau 8. Facteurs de satisfaction au travail

ENONCEES	OCCURRENCES					Total enquêtés	Total %
	Pas satisfait %	Peu satisfait %	Satisfait %	Très satisfait %	Extrêmement satisfait %		
1- Distribution des tâches selon les capacités de tous les travailleurs	10 22	11 24	20 43	5 11	■	46	100
2- Attrait de mon travail.	7 15	9 19	18 39	10 22	2 4	46	100
3- La liberté et l'indépendance que j'ai pour organiser mon travail.	4 9	12 26	14 30	14 30	2 4	46	100
4- Avoir le droit de commander (donner des ordres) et de diriger d'autres personnes dans mon travail.	15 33	9 19	12 26	9 19	1 2	46	100
5- Possibilité des chances de promotion au travail.	3 6	13 28	16 35	11 24	3 6	46	100
6- De l'information que me fournit mon chef (supérieur).	3 6	8 17	22 49	9 19	4 9	46	100
7- Faciliter de communiquer avec mes compagnons et collègues de travail.	1 2	3 6	19 41	19 41	4 9	46	100
8- Faciliter de communiquer avec mes supérieurs.	2 4	13 28	19 41	10 22	2 4	46	100
9- Les responsabilités dans mon emploi.	2 4	10 22	18 39	12 26	4 9	46	100
10- L'occasion et possibilité d'employer mes nouvelles méthodes de travail ou apporter des changements dans ma façon de travailler.	3 6	12 26	15 33	13 28	3 6	46	100
11- Les compliments qui me sont faits pour un bon travail par mon chef ou mes collègues.	2 4	9 19	19 41	9 19	6 13	46	100
12- La façon dont les dirigeants ou chefs gouvernent/ dirigent l'organisation pour laquelle je travaille.	5 10	11 24	20 43	9 19	1 2	46	100
13- Le salaire que je reçois pour le travail que je fais.	■	9 19	22 48	12 26	3 6	46	100
14- La sécurité de mon emploi (stabilité de mon emploi).	1 2	11 24	17 37	14 30	3 6	46	100
15- La sécurité concernant les accidents et incidents sur mon lieu de travail	■	10 22	20 43	16 35	-	46	100
16- L'attention que mon supérieur porte à l'égard des employés dans l'exécution / exercice de leurs tâches.	3 6	7 15	20 43	12 26	4 9	46	100
17- La compétence de mon supérieur.	1 2	3 6	25 54	13 28	4 9	46	100
18- La variété dans mon travail / possibilité de faire des tâches variées ou différentes.	12 26	9 19	12 26	11 24	2 4	46	100

Le tableau ci-haut reflète les opinions de nos enquêtés sur l'ensemble de facteurs (extrinsèques et intrinsèques) de la satisfaction au travail tels que élaborés par Larouche et Delorme dans leur inventaire.

4.1.1 FACTEURS EXTRINSÈQUES

Tableau 9. Opinions des enquêtés à l'égard des facteurs extrinsèques

ENONCEES	OCCURRENCES					
	Pas satisfaits	%	Satisfaits	%	Enquêtés	TOT %
Distribution des tâches selon les capacités de tous les travailleurs	21	46	25	54	46	100
De l'information que me fournit mon chef (supérieur).	11	23	35	77	46	100
Faciliter de communiquer avec mes compagnons et collègues de travail.	4	8	42	92	46	100
Faciliter de communiquer avec mes supérieurs de travail.	15	32	31	68	46	100
La façon dont les dirigeants ou chefs gouvernent/ dirigent l'organisation pour laquelle je travaille.	16	34	30	66	46	100
Le salaire que je reçois pour le travail que je fais.	9	19	37	81	46	100
La sécurité de mon emploi (stabilité de mon emploi).	12	26	34	74	46	100
La sécurité concernant les accidents et les incidents sur mon lieu de travail	10	22	36	78	46	100
L'attention que mon supérieur porte à l'égard des employés dans l'exécution / exercice de leurs tâches	10	22	36	78	46	100
La compétence de mon supérieur.	3	8	43	92	46	100

Ce tableau présente les résultats sur les opinions des enquêtés au regard des facteurs extrinsèques à la base de la satisfaction au travail.

Tableau 10. Opinions des enquêtés à l'égard des facteurs intrinsèques

ENONCEES	OCCURRENCES					
	Pas satisfaits	%	Satisfaits	%	Enquêtés	TOT %
Attrait de mon travail.	16	35	30	65	46	100
La liberté et l'indépendance que j'ai pour organiser mon travail.	16	35	30	65	46	100
Avoir le droit de commander (donner des ordres) et de diriger d'autres personnes dans mon travail.	24	52	22	48	46	100
Possibilité des chances de promotion au travail.	16	35	30	65	46	100
Les responsabilités dans mon emploi.	12	26	34	74	46	100
L'occasion et possibilité d'employer mes nouvelles méthodes de travail ou apporter des changements dans ma façon de travailler.	15	32	31	68	46	100
Les compliments qui me sont faits pour un bon travail par mon chef ou mes collègues.	11	23	35	77	46	100
La variété dans mon travail / possibilité de faire des tâches variées ou différentes.	21	45	25	55	46	100

Ce tableau dégage les résultats sur les opinions des enquêtés au regard des facteurs intrinsèques à la base de la satisfaction au travail.

5 CONCLUSION

Au début de ce travail de recherche qui a porté sur l'analyse de la satisfaction au travail selon l'approche bi factorielle de Herzberg, une étude menée auprès du personnel de l'Office congolais de contrôle (OCC) / Direction Provinciale du Nord-Kivu en République Démocratique du Congo, il a été question de répondre à l'interrogation ci-après:

- Quels sont les principaux facteurs qui procurent de la satisfaction aux travailleurs et travailleuses de l'Office Congolais de Contrôle ?

L'objectif ci-dessous était poursuivi dans notre investigation:

- Identifier les principaux facteurs qui procurent de la satisfaction au travail de l'ensemble de travailleurs et travailleuses de l'Office congolais de contrôle;

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes proposé de répondre provisoirement à notre question de départ de la manière suivante:

- Les principaux facteurs à la base de la satisfaction au travail seraient: l'affectation du personnel, la communication, les conditions du travail, la politique de l'organisation, la rémunération, la sécurité d'emploi, la sécurité au travail, la supervision technique, la supervision humaine (Facteurs extrinsèques) et l'attrait au travail, l'autonomie, l'autorité, l'avancement, la responsabilité, l'innovation, la reconnaissance et enfin la variété (Facteurs intrinsèques);

Après le dépouillement, nous avons transformé les réponses en pourcentage et nous avons constaté que tous les facteurs que ça soient intrinsèques ou extrinsèques procurent de la satisfaction aux travailleurs, contrairement à Herzberg qui pense dans sa théorie que seuls les facteurs intrinsèques seraient à la base de la satisfaction de travailleurs. Il suffit donc que tous ces facteurs soient en accord avec les attentes et les désirs du travailleur pour qu'il en tire satisfaction.

Par rapport aux facteurs intrinsèques, nous remarquons que la quasi-totalité de nos enquêtés en tire satisfaction, les résultats y relatifs se présentent comme suit:

Pour l'attrait du travail, 65% de cas sont satisfaits contre 35% de cas insatisfaits; pour la liberté et l'indépendance au travail, 65% de cas sont satisfaits contre 35% insatisfaits; concernant la possibilité ou la chance de promotion, 65% de cas sont satisfaits contre 35% de cas insatisfaits; concernant les responsabilités dans l'emploi, 74% de cas sont satisfaits contre 26% insatisfaits; concernant les possibilités d'employer des nouvelles méthodes, 68% de cas sont satisfaits contre 32% de cas insatisfaits; concernant les compliments que le travailleur reçoit de la part de son chef, 77% de cas sont satisfaits contre 23 insatisfaits; pour ce qui est de tâches variées, 55% de cas sont satisfaits contre 45 insatisfaits. Signalons que c'est seulement au niveau de droit de commander que nos enquêtés ont été insatisfaits, 52% de cas insatisfaits contre 48% qui sont satisfaits.

Concernant les facteurs extrinsèques, nous avons obtenus ce qui suit: Distribution des tâches selon les capacités de chacun, 54% de cas satisfaits contre 46% de cas insatisfaits; informations que me fournit mon supérieur, 77% de cas satisfaits contre 23% insatisfaits; la communication horizontale, 92% de cas satisfaits contre 8% insatisfaits; communication verticale, 68% de cas satisfaits contre 32% insatisfaits; la façon dont les chefs dirigent l'organisation, 66% de cas sont satisfaits contre 34% insatisfaits; concernant la rémunération, 81% de cas sont satisfaits contre 19% de cas insatisfaits; stabilité ou sécurité de l'emploi, 74% de cas sont satisfaits contre 26% insatisfaits; sécurité contre les incidents et accidents sur le lieu de travail, 78% de cas sont satisfaits contre 22% de cas insatisfaits; concernant l'attention que porte le supérieur sur le travail qu'exécute le travailleur, 78% de cas sont satisfaits contre 22% insatisfaits et en fin, concernant la compétence du chef, 93% de cas sont satisfaits contre seulement 7% de cas insatisfaits de la compétence de leur chef.

Pour asseoir définitivement cette conclusion sur des bases solides, nous prions à tout chercheur qui voudra traiter un sujet en rapport avec celui-ci de mener son étude sur des vastes échantillons représentatifs.

Pour clôturer cette recherche, nous suggérons à tous les responsables des établissements publics et privés en général et plus particulièrement à ceux de l'Office Congolais de Contrôle de mener périodiquement des enquêtes auprès de leurs employés afin de découvrir leurs attentes et ambitions personnelles mais aussi en vue de découvrir ce qui pourrait conduire ces derniers à la satisfaction.

REFERENCES

- [1] Cohen, A. (1968). Toute fonction des ressources humaines. Paris, 2e éd DUNOD.
- [2] Castel, D. (2012). De l'usage social de la satisfaction au travail, levier de transformation ou outil de régulation. Lille, éditions de l'ANRT.
- [3] Davoine, L. (2006). Les déterminants de la satisfaction au travail en Europe. Paris: La découverte.
- [4] Depleteau, F. (2000). Démarche d'une recherche en sciences sociales. Paris: PUF.
- [5] Herzberg, F. (1971). Le travail et la nature de l'homme. Adaptation de Charles Voraz, Entreprise moderne d'Edition.
- [6] Herzberg, F. et 22. Maslow, A. (1923). Théorie de contenu motivationnel. Paris, Edition, des organisations.
- [7] Larouche, V. et Delorme, A. (1972). Satisfaction au travail: reformulation théorique. Vol28.
- [8] Larouche, V. et Delorme, A. (1973). Satisfaction au travail: problème associé à la mesure, relations industrielles. Vol 28.

- [9] Larouche, V. et Delorme, A. (1975). Inventaire de la satisfaction au travail: validation, relations, industrielles. Vol 30, n° 3.
- [10] Larousse. (2012). Dictionnaire français. Paris: Larousse.
- [11] Maslow, A. (1943). A theory of human motivation: Psychological review. Vol 50 pp.
- [12] Zaleznik, A. (1992). Sciences sociales et management. Paris, Ed des organisations.
- [13] Castel, D. (2016). Satisfaction au travail. <http://www.researchgate.net/311073725>.
- [14] Gulaine, D. (2015). Satisfaction ou insatisfaction, là est la question: publié dans bien-être au travail gestion de carrière.
- [15] Lahiri, D. K. (1967). Determinants of satisfaction in middle- management personal. Journal of applied psychology, vol 51.
- [16] Leboyer, L. (2002). Satisfaction au travail: Bien-être au travail.
- [17] Wolf, M. G. (1970). Need gratification theory: a theoritical reformulation of job satisfaction. "Disgratification and job motivation" Journal of applied psychology, Vol 54, pp. 87-94.
- [18] Foucher, R. (1980). Concept et mesure de satisfaction au travail et des besoins reliés au travail: application aux enseignants du niveau collégial Québécois. Thèse de doctorat en psychologie, inédit, 1980.
- [19] Lise Tremblay. (1990). Étude sur la satisfaction au travail d'un groupe de travailleurs œuvrant dans un ministère québécois au Saguenay-Lac-ST-Jean. Thèse de doctorat inédit 1990.
- [20] Elodie, B. L'emploi au cœur des régions <http://www.cadremploi.fr>.
- [21] Dictionnaire de l'entreprise. <https://www.jobintree.com>.
- [22] Castel, D. Satisfaction au travail. <https://www.reseachgale.net/311073725>.
- [23] Levy, L. Le bien-être au travail. <https://www.google.com>: 21, mars 2011.

Effets de l'exposition aux événements traumatiques sur l'estime de soi chez les habitants de la ville de Goma : Cas du Quartier Buhene

[Effects of exposure to traumatic events on self-esteem among residents of the city of Goma : Case of Quartier Buhene]

Kasao Mutumay Dieudonne¹ and Bahati Valentin²

¹Assistant de premier mandant, Université de Goma, RD Congo

²Assistant de deuxième mandant, Université de Goma, 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: For more than a decade, the east of the Democratic Republic of the Congo in general and more particularly North Kivu has been facing regionalist tensions and political divisions to which we add other phenomena such as: barbarism, insecurity, police and military harassment, killings and violence, wars, tribal conflicts causing permanent instability, major population movements as well as the volcanic eruption, killing several families and even to those close to them who are dear to them. Given the extent of this situation, we believe that the self-esteem of the inhabitants of the City of Goma, more particularly of the Buhene Quarter, is not at the normal level given that they are exposed daily to unfortunate and traumatic events. The purpose of this study is to examine the effects of exposure to traumatic events on the self-esteem of Gomatraciens in general and in particular among the inhabitants of Buhene. After analyzing the results, we found that the more the Congolese of North Kivu in general and in particular those of the city of Goma are exposed to traumatic events, the more their level of self-esteem becomes too low.

KEYWORDS: Trauma, esteem, scales, self-esteem.

RESUME: Depuis Plus d'une décennie, l'Est de la République Démocratique du Congo en général et plus particulièrement le Nord-Kivu fait face à des tensions et des clivages politiques régionalistes auxquels on ajoute d'autres phénomènes tels que: les barbaries, l'insécurité, les tracasseries policières et militaires, les tueries et les violences, les guerres, les conflits tribaux à l'origine d'une instabilité permanente, d'importants mouvements de populations ainsi que l'éruption volcanique, faisant la mort à plusieurs familles et même aux proches qui leurs sont chers. Vu l'ampleur de cette situation, nous pensons que l'estime de soi chez les habitants de la Ville de Goma, plus particulier du Quartier Buhene n'est pas au niveau normal étant donné qu'ils sont exposés quotidiennement aux événements malheureux et traumatisant. Cette étude a comme objectif d'examiner les effets de l'exposition aux événements traumatiques sur l'estime de soi des Gomatraciens en général et en particulier chez les habitants de Buhene. Après l'analyse des résultats, nous avons trouvé que plus les congolais du Nord-Kivu en général et en particulier ceux de la ville de Goma sont exposés aux événements traumatiques, plus leur degré d'estime de soi devient trop faible.

MOTS-CLEFS: Trauma, estime, échelles, estime de soi.

1 INTRODUCTION

Depuis plus d'un siècle, le traumatisme psychique comme notion et comme réalité clinique a fait l'objet d'un grand nombre de publications. Le succès des premières élaborations théoriques de Freud sur la question a contribué à étendre les domaines de son application, de la séduction hystérique aux traumatismes de guerre, puis à toutes situations de catastrophe impliquant pour le sujet un effet de choc (Marty et al. 2003, p.1). Le trauma est le phénomène qui bouleverse le psychisme en réponse à un événement qui implique menace à mort ou altération de l'intégrité physique comme par exemple: une agression individuelle, un viol, un accident grave, une embuscade, un attentat ou une catastrophe (Crocq. 2012, p. 14).

Il s'agit là, d'un phénomène de bouleversement qui se passe à l'intérieur du psychisme suite à une excitation extérieure ou un événement subit violent et agressant qui fait une effraction au travers des défenses du psychisme.

Un événement traumatique constitue une condition nécessaire, mais non suffisante au développement de l'état de stress post traumatique (ESPT), bien que la plupart des individus exposés à un événement traumatique puissent, vivre de fortes réactions post-traumatiques. Le traumatisme est issu de la survenue par surprise d'un élément externe qui vient faire effraction dans l'organisation défensive du moi, brisant le système du pare-excitation, risquant de provoquer un effondrement des défenses qui montrent à cette occasion, leur faiblesse pour lutter contre l'impact de cet événement, et dans la plus part des cas, les victimes d'un traumatisme psychique développent le syndrome de psycho traumatique (PTSD).

Le continent d'Afrique reste le plus touché par des conflits, des guerres et les conséquences qui s'en suivent sont néfastes. Plus d'une décennie, l'Est de la République Démocratique du Congo fait face à des tensions et des clivages politiques régionalistes. Ajouter à cela, les conflits tribaux à l'origine d'une instabilité permanente, d'importants mouvements de populations. La province du Nord-Kivu est également l'épicentre de beaucoup d'épidémies récurrentes avec une surmortalité. Suite à l'injustice des conflits fonciers, il s'observe des destructions des infrastructures entraînant un cercle vicieux de la pauvreté.

L'estime de soi quant à elle, est devenue aujourd'hui une aspiration légitime aux yeux dans une société de plus en plus compétitive.

L'épanouissement de l'individu en famille, en couple et au travail est devenu l'une des principales préoccupations actuelles: culte de soi, exaltation de soi, amour de soi, estime de soi, ...sont autant d'expression contemporaine qui mettent l'accent en évidence, cette nouvelle aspiration encrée en chacun de nous, à être, à devenir, rester pleinement soi-même. Nombreuses sont ceux qui se fixe pour objectif de se réaliser pleinement, ils veulent à la fois se sentir mieux avec eux-mêmes et bien au milieu des autres. La multiplication des publications, de formation et de cabinet de développement personnel est la meilleure de l'émergence de cette soif, encore inassouvie. Les seniors observent avec incompréhension ou étonnement la détermination dont font preuve les générations les plus jeunes pour gagner en estime eux-mêmes. Le culte de soi ne figurer pas au rang de leurs préoccupations, il s'agit en effet d'une valeur ressentie qui s'est affirmé vers 1950 aux Etats-Unis, puis épanoui vers 1980 dans le reste des pays occidentaux (Chalvin, 2017, p1).

Nous avons peu à peu compris, individuellement et comme société, que l'estime de soi avait une grande importance

Chaque personne se fait une idée d'elle-même, cette perception de soi, fortement influencée par les changements sociaux, se construit au fil des années et n'est jamais définitivement acquise.

L'estime de soi est déterminée par la croyance que nous avons dans notre capacité de maîtriser les choses et de changer les situations, ainsi, l'idée que nous nous faisons de notre aptitude à contrôler ce qui nous arrive influence notre façon d'agir.

White (1963, p. 67), dit que quand l'estime de soi est basse, celle-ci est à la fois un facteur de risque de dépression et, pour un déprimé, un critère de gravité et de mauvais pronostic. Plus l'estime de soi est basse, plus les dangers de développer une dépression existent. L'expression estime de soi se veut plus objective, le verbe « estimer » vient du latin « oestimare » « évaluer » dont la signification est double: à la fois « déterminer la valeur de » et « avoir une opinion sur ».

L'estime de soi est bien, c'est comme on se voit, ainsi ce qu'on voit on l'aime ou pas. Ce regard jugement que l'on porte sur soi est vital à notre équilibre psychologique lorsqu'il est positif, il permet d'agir efficacement, de se sentir bien dans sa peau, de faire face aux difficultés de l'existence mais quand il est négatif, il engendre nombre de souffrances de désagréments qui viennent perturber notre quotidien. Prendre le temps de mieux cerner son estime de soi n'est donc pas un exercice inutile (Leonard, F. et Christophe, A. 1996, p.12).

L'estime de soi est une donnée fondamentale de la personnalité, placée au carrefour de trois composantes essentielles de soi: comportementale, cognitive et émotionnelle. Elle comporte des aspects comportementaux c'est-à-dire (elle influence nos capacités à l'action et se nourrit en retour de nos succès) et cognitif c'est-à-dire (elle dépend étroitement de regard que nous

portons sur nous mais elle module aussi à la hausse ou à la baisse). Enfin, l'estime de soi reste pour une grande part une dimension fortement affective de notre personne. Elle dépend de notre humeur de base qu'elle influence fortement en retour.

Les rôles de l'estime de soi peuvent d'ailleurs être compris selon cette même grille de lecture, une bonne estime de soi facilite l'engagement dans l'action et associée à une autoévaluation plus fiable et plus précise permet une stabilité émotionnelle plus grande.

Nous pensons que l'estime de soi chez les habitants du quartier Buhene n'est pas au niveau normal étant donné qu'ils sont exposés quotidiennement aux événements malheureux et traumatisants tels que: l'éruption volcanique, les barbaries, l'insécurité, les tracasseries policières et militaires, les tueries et les violences ainsi que les guerres faisant la mort à plusieurs familles et même aux proches qui leurs sont chers.

Vu l'ampleur de ces événements auxquels la population de Buhene est exposée, nous supposons que ceux-ci influenceraient négativement l'estime de soi de cette dernière. Voilà ce qui constitue même le leitmotiv de notre recherche qui porte sur les effets de l'exposition traumatique sur l'estime de soi chez les habitants du Quartier Buhene.

Au vu de toute considération, dans ce travail nous nous proposons de répondre à la question suivante:

Est-ce que l'exposition aux événements traumatiques a des effets sur l'estime de soi chez les habitants du Quartier Buhene?

Eu égard à cette problématique, nous présumons que les habitants de Buhene exposés aux événements traumatiques auraient une estime de soi faible.

L'objectif de cette étude est d'examiner les effets d'exposition traumatique sur l'estime de soi chez les habitants du Quartier Buhene.

L'estime de soi est un élément important qu'une personne puisse avoir et qui permet toute sorte d'apprentissage car elle alimente notre confiance en nous même. Ce travail a un intérêt double: du point de vue théorique, les informations réunies constituent un portrait pour tout chercheur en psychologie cognitive. Du point de vue pratique, les résultats de cette recherche constituent une ébauche de connaissance pour les acteurs en santé mentale, les acteurs politiques et la société congolaise en général, à mieux comprendre les conséquences des effets traumatiques sur l'estime de soi de la population de la ville de Goma.

2 METHODOLOGIE

Ce deuxième point a pour objectif de présenter la méthode utilisée pour vérifier les hypothèses de recherche en précisant les importances inhérentes aux participants de l'échantillon, à l'instrument de mesure privilégiés, au plan d'analyse.

Une méthode est un ensemble d'opérations intellectuelles par lesquelles une discipline cherche à atteindre les vérités qu'elle poursuit, les démontrer et les vérifier. (Grawitz, 1996, p.345).

Pour atteindre cet objectif, la méthode d'enquête a été privilégiée. L'enquête s'est réalisée en recourant à la technique de questionnaire, une échelle d'estime de soi élaborée par Rosenberg et une échelle des événements traumatiques. Ces échelles ont été administrées de façon indirecte auprès de personnes du Quartier Buhene ayant subi au moins un événement traumatisant au cours de leur vie. Le traitement des données a été réalisé grâce au logiciel SPSS (Statistical Package Social Science). Ce dernier nous permettra d'apprécier les hypothèses émises à partir des scores obtenus.

2.1 ECHANTILLON D'ÉTUDE

Les participants à l'étude sont composés des habitants du quartier Buhene dans la ville GOMA, un quartier reculé de la ville et dont les habitants sont fréquemment exposés aux événements traumatisants entre autre: l'éruption volcanique, les barbaries, l'insécurité, les tracasseries policières et militaires, les tueries et les violences ainsi que les guerres faisant la mort à plusieurs familles et même aux proches qui leurs sont chers.

Au total 50 sujets ont participé volontairement à notre étude, 26 d'entre eux étant de sexe féminin et 24 du sexe masculin.

2.1.1 PROFIL DE PARTICIPANTS SELON LES VARIABLES RETENUES

Notons que trois variables ont été retenus dans notre étude, il s'agit du sexe, âge ainsi que le niveau d'étude de nos enquêtés.

Tableau 1. Répartition de l'échantillon selon le sexe

Sexe	Fréquence	Pourcentage
MASCULIN	24	42
FEMININ	26	48
TOTAL	50	100

Il s'observe dans ce tableau que 26 sujets soit 48% de nos enquêtés sont du sexe féminin contre 24 sujets soit 42% du sexe masculin.

Tableau 2. Répartition de l'échantillon selon l'âge

Age	Fréquence	Pourcentage
16 à 20 ans	11	22
21 à 26 ans	11	22
27 à 32 ans	12	24
33 à 38 ans	11	22
39 à 44 ans	3	6
45 ans et plus	2	4
TOTAL	50	100

Il se dégage de ce tableau que 12 sujets soit 24% ont l'âge situé entre 27 et 32 ans; 11 sujets soit 22% dont l'âge est compris entre 16 et 20 ans; 11 autres sujets soit 22% dont l'âge est compris entre 21 et 26 ans et 11 sujets soit 22% dont l'âge est compris entre 33 et 38 ans; 3 sujets soit 6% dont l'âge se situe entre 39 ans et 44 ans et enfin, 2 sujets soit 4% ayant l'âge de 45 ans et plus.

Tableau 3. Répartition de l'échantillon selon l'âge

N. E	Fréquence	Pourcentage
Primaire	2	4
D6	25	50
G3	9	18
L2	6	12
Sans niveau	8	16
TOTAL	50	100

En lisant ce tableau, il y a lieu de constater que 25 sujets enquêtés soit 50% sont de D6; 9 sujets soit 18% ont un niveau de G3; 8 sujets soit 16% n'ont pas étudié; 6 sujets soit 12% ont le niveau de licence et en fin, 2 sujets soit 4% ont le niveau d'étude primaire.

2.2 INSTRUMENTS DE COLLECTE DE DONNÉES

Cette étude évalue la relation entre l'exposition aux événements traumatiques et l'estime de soi. Après consentement éclairé, il était question de demander aux sujets s'il a déjà fait l'expérience des événements traumatiques énumérés sur un questionnaire très bien conçu qui reprend les événements auxquels les sujets peuvent ou pas avoir vécu.

L'estime de soi est considérée en psychologie, comme le jugement ou l'évaluation faite d'un individu en rapport à sa propre valeur. Lorsque l'individu accomplit une chose qu'il pense valable, celui-ci ressent une valorisation et lorsqu'il évalue ses actions comme étant en opposition à ses valeurs, il réagit en baissant dans son estime. Selon certains, l'expression est à distinguer de « la confiance en soi » qui, bien que liée à la première, est en rapport avec les capacités plus qu'avec les valeurs. Pour mesurer leur estime de soi, les sujets ont été invités à répondre au test d'estime de soi de ROSENBERG et dont la tâche du sujet était d'encercler le chiffre qui correspond le mieux à leur expérience. 1= Jamais (désaccord); 2= Rarement (plutôt désaccord); 3= Parfois (plutôt en accord); et 4= Souvent (tout à fait d'accord).

2.3 PROCÉDURE DES COLLECTES DES DONNÉES

Pendant cette phase, nous avons été en contact avec les sujets retenus à l'étude par convenance, c'est-à-dire selon l'intérêt à la disponibilité manifestée par les participants. Ces contacts ont eu lieu dans le quartier Buhene tout en étant munis d'une fiche explicative d'où, il était question d'abord d'expliquer aux participants le pourquoi de notre étude et l'objectif fixé tout en adaptant le discours au sujet et les langues utilisées étaient soit le kiswahili ou le Français.

Après consentement éclairé, il était question de demander aux sujets s'il avait déjà fait l'expérience des événements traumatiques énumérés sur un questionnaire très bien conçu et l'évaluation psychométrique de l'estime de soi par le test de ROSENBERG. Nous étions obligés selon les recommandations des tests de fidéliser les réponses de chaque participant. De manière globale, une moyenne de 20 minutes suffisait pour administrer le questionnaire à chaque participant. L'administration du questionnaire était indirecte.

2.4 PLAN D'ANALYSE

Au regard des données récoltées, nous avons fait le dépouillement des informations de la manière suivante: sur ce qui concerne le questionnaire d'exposition traumatique où il était question de répondre par oui ou non, pendant le dépouillement oui signifiait 1 et non 0. Et pour le test d'estime de soi nous avons fait le dépouillement selon les critères de ce test 1= Jamais (désaccord); 2= Rarement (plutôt désaccord); 3= Parfois (plutôt en accord); et 4= Souvent (tout à fait d'accord).

Pour cette échelle de ROSENBERG, il suffit d'additionner les scores obtenus aux questions n° 1, 2, 4, 6, et 7. Pour les questions n° 3, 5, 8, 9 et 10, la cotation est inversée c'est-à-dire qu'il faut compter 4 si l'individu a choisi le chiffre 1; 2 si le sujet a choisi le chiffre 2; 1 si le sujet a choisi le chiffre 3 et en fin 1 si le sujet a choisi le chiffre 4. Le total des points obtenus à un score se situe entre 10 et 40.

L'interprétation des résultats est identique aussi bien chez les hommes que chez les femmes. Si un sujet obtient un score inférieur à 25, cela signifie que son estime de soi est très faible. Si le score est situé entre 25 et 30, dans ce cas l'estime de soi est faible. Un score situé entre 31 et 33, cela fait signe d'une estime de soi moyenne. Le candidat obtenant un score compris entre 34 et 38 signifie qu'il fait preuve d'une estime de soi forte, en fin, un score supérieur à 39 signifie que le sujet a une très forte estime de soi.

3 RESULTATS DE L'ETUDE

Ce point est consacré à la présentation et l'analyse des données obtenues ainsi qu'à l'interprétation et la conclusion.

Les résultats sont présentés en deux sections: La première les statistiques descriptives en rapport avec l'échelle d'exposition aux événements traumatiques, la deuxième section, le résultat en terme de scores obtenus en rapport avec l'estime de soi. Ensuite, l'interprétation des résultats et la conclusion.

3.1 RÉSULTATS EXPRIMÉS À L'ÉGARD DES ÉVÈNEMENTS TRAUMATIQUES

Dans ce point nous présentons les réponses des sujets ayant été exposés aux événements traumatiques. Pour recueillir les informations, nous avons soumis au sujet un questionnaire renfermant 22 questions ayant trait aux événements traumatisants et la tâche des sujets était de répondre par OUI ou soit NON selon les expériences qu'ils ont par rapport à ces événements.

Tableau 4. *Expérience des enquêtés sur l'exposition aux événements traumatiques*

Énoncé	Occurrences (N=50)				
	Oui	%	Non	%	Tot %
1. Avoir manqué d'un abri ou d'une maison	42	84	8	16	100
2. Avoir manqué des nourritures et d'eau	42	84	8	16	100
3. Avoir eu une mauvaise santé sans possibilité d'accès à des soins médicaux	38	76	12	24	100
4. Confiscation ou destruction des biens personnels	32	64	18	36	100
5. Situation des combats armés, des guerres	36	72	14	28	100
6. Evacuations forcées dans des conditions dangereuses	41	82	9	18	100
7. Avoir été battu physiquement	26	52	24	48	100
8. Viol	7	14	43	86	100
9. Autres types d'abus sexuels ou d'humiliations sexuelles	16	32	34	68	100
10. Avoir été attaqué au couteau ou à la machette	25	50	25	50	100
11. Torture: lors d'une détention, vous avez régulièrement été soumis à des souffrances physiques ou psychologiques	16	32	34	68	100
12. Blessure physique sérieuse à cause des combats armés	19	38	31	62	100
13. Emprisonnement	16	32	34	68	100
14. Travaux forcés (comme un animal ou un esclave	33	66	17	34	100
15. Pillage ou vol	31	62	19	38	100
16. Lavage de cerveau	30	60	20	40	100
17. Avoir été obligé de se cacher	28	56	22	44	100
18. Avoir été kidnappé	16	32	34	68	100
19. Autres séparations forcées des membres de votre famille	25	50	25	50	100
20. Avoir été forcé ou au contraire empêché d'enterrer les corps de personnes décédées	22	44	28	56	100
21. Avoir été isolé de force	29	58	21	42	100
22. Quelqu'un a été forcé de vous trahir, vous exposant ainsi au risque de mourir ou d'être blessé	27	54	23	46	100

En parcourant les résultats de ce tableau, nous constatons que nos enquêtés ont déjà vécu au moins une ou une autre forme d'événement traumatique. Ceci se justifie par le fait qu'ils ont répondu en grande partie par OUI sur l'ensemble de questions leur posées, seulement nous remarquons qu'aux questions n° 8, 9, 11, 12, 13, 18 et 20 les sujets ont répondu majoritairement par NON. Il s'agit de questions suivantes: le viol où 43 sujet soit 86% affirment qu'ils n'ont jamais été violés contre 7 soit 14%; autres types d'abus sexuel où 34 sujets soit 68% admettent n'avoir jamais subi autre type d'abus sexuel contre 16 sujets soit 32% qui ont répondu par oui; torture lors de détention, 34 sujets soit 68% de cas ont répondu par non contre 16 sujets soit 32% de cas qui affirment avoir subi de torture lors d'une détention; blessure sérieuse physique lors d'un combat: 31 sujets soit 62% ont répondu par non contre 19 sujets soit 38% de cas qui ont répondu par oui; Emprisonnement: 32 sujets soit 64% n'ont jamais été emprisonnés contre 18 sujets soit 36% ayant déjà été emprisonnés; avoir été kidnappé: 34 sujets soit 68% n'ont jamais été emprisonnés contre 16 soit 32% ayant répondu par oui; avoir été empêché ou contraint d'enterrer les corps de personnes décédées, 28 sujets soit 56% ont répondu par non contre 22 sujets soit 44% des cas ayant répondu par oui.

Partant de ces résultats il y a lieu d'affirmer que nos enquêtés ont déjà fait une expérience ou événement traumatique.

3.2 EVALUATION DE L'ESTIME DE SOI

Il s'agit d'une évaluation globale de l'ensemble de personnes enquêtées. En effet, il est question de se rapporter au tableau ci-dessous pour avoir une idée sur leur effectif ainsi que leur degré d'estime de soi.

Comme nous l'avons déjà signalé dans les pages précédentes, pour cette échelle de ROSENBERG constituée de 10 items, il suffit d'additionner les scores obtenus aux questions n° 1, 2, 4, 6, et 7 pour obtenir le score de chaque sujet évalué. Pour les questions n° 3, 5, 8, 9 et 10, la cotation est inversée c'est-à-dire qu'il faut donner la cote 4 si l'individu a choisi le chiffre 1; 2 si

le sujet a choisi le chiffre 2; 2 si le sujet a choisi le chiffre 3 et en fin 1 si le sujet a choisi le chiffre. Le total des points obtenus par sujet se situe entre 10 et 40.

L'interprétation des résultats est identique aussi bien chez les hommes que chez les femmes. Si un sujet obtient un score inférieur à 25, cela signifie que son estime de soi est très faible. Si le score est situé entre 25 et 30, dans ce cas l'estime de soi est faible. Un score situé entre 31 et 33, cela fait signe d'une estime de soi moyenne. Le candidat obtenant un score compris entre 34 et 38 signifie qu'il fait preuve d'une estime de soi forte, en fin, un score supérieur à 39 signifie que le sujet a une très forte estime de soi.

Tableau 5. Degré d'estime de soi des enquêtés

Interprétation	Score	Effectif	%
Très forte estime de soi	39-42	0	0
Forte estime de soi	34-48	0	0
Moyenne estime de soi	31-33	4	8
Faible estime de soi	25-30	24	48
Très faible estime de soi	- 25	22	44
TOTAL		50	100

En lisant ce tableau, nous constatons que 24 sujets soit 48% de nos enquêtés ont une estime de soi faible suivi de 22 sujets soit 44% ayant une estime de soi très faible et en fin, 4 sujets soit 8% seulement ayant une estime de soi moyenne.

3.3 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'étude poursuivait un objectif: examiner les effets de l'exposition aux événements traumatiques sur l'estime de soi des habitants du Quartier Buhene.

Par rapport à cet objectif, les résultats illustrent tout d'abord que les participants à l'étude ont déjà vécu des événements traumatiques étant donné les résultats observés dans le tableau en rapport avec les événements traumatiques. En majorité, les sujets ont répondu par OUI sur l'ensemble de questions leur posées, seulement nous remarquons qu'aux questions n° 8, 9, 11, 12, 13, 18 et 20 où les sujets ont répondu majoritairement par NON. Il s'agit de questions suivantes: le viol où 43 sujet soit 86% affirment qu'ils n'ont jamais été violés contre 7 soit 14%; autres types d'abus sexuel où 34 sujets soit 68% admettent n'avoir jamais subi autre type d'abus sexuel contre 16 sujets soit 32% qui ont répondu par oui; torture lors de détention, 34 sujets soit 68% de cas ont répondu par non contre 16 sujets soit 32% de cas qui affirment avoir subi de torture lors d'une détention; blessure sérieuse physique lors d'un combat: 31 sujets soit 62% ont répondu par non contre 19 sujets soit 38% de cas qui ont répondu par oui; Emprisonnement: 32 sujets soit 64% n'ont jamais été emprisonnés contre 18 sujets soit 36% ayant déjà été emprisonnés; avoir été kidnappé: 34 sujets soit 68% n'ont jamais été emprisonnés contre 16 soit 32% ayant répondu par oui; avoir été empêché ou contraint d'enterrer les corps de personnes décédées, 28 sujets soit 56% ont répondu par non contre 22 sujets soit 44% des cas ayant répondu par oui.

En ce qui concerne les effets de l'exposition au trauma sur l'estime de soi, observe un effet négatif du trauma sur l'estime de soi chez les habitants du Quartier Buhene vu le résultat obtenu dans le tableau d'évaluation de l'estime de soi selon lequel: 24 sujets soit 48% de nos enquêtés ont une estime de soi faible suivi de 22 sujets soit 44% ayant une estime de soi très faible et en fin, 4 sujets soit 8% seulement de sujets ayant une estime de soi moyenne.

On peut déduire à la suite de ces résultats que plus les congolais du Nord-Kivu en général et en particulier ceux de la ville de Goma sont exposés aux événements traumatiques (viol, guerres, kidnappings, déplacement forcés, éruption volcanique...), plus leur degré d'estime de soi devient trop faible.

Depuis plus d'une décennie l'Est de la république Démocratique du Congo vit des tensions et clivages politiques, régionalistes et tribaux qui sont à l'origine d'une instabilité permanente, d'importants mouvements de la population, d'épidémies récurrentes, d'une surmortalité et d'une destruction des infrastructures qui entraînent un cercle vicieux de la pauvreté. Et pour être plus concret, notre étude a ciblé le milieu péri urbain de Goma qui avoisine le parc national de Virunga qui héberge à son sein multiples groupes armés qui commettent les actes de vandalisme à la population environnante mais aussi ceux qui ont connu des inopinés déguerpissements.

4 CONCLUSION

Le trauma est le phénomène qui bouleverse le psychisme en réponse à un événement qui implique une menace à mort ou une altération de l'intégrité physique. Ceci implique que l'exposition à un événement traumatique doit avoir un impact sur le fonctionnement cognitif, en particulier sur l'estime de soi. Au début nous nous sommes posé une question: Est-ce que l'exposition aux événements traumatiques a des effets sur l'estime de soi des habitants du Quartier Buhene ? Eu égard à cette problématique, nous avons estimé que les habitants du Quartier Buhene exposés aux événements traumatiques auraient une estime de soi faible. Et, en conséquence, cette estime de soi faible chez ces habitants serait due au trauma. L'étude poursuivait un seul objectif: examiner les effets de l'exposition aux événements traumatiques sur l'estime de soi des Gomatraciens en général et en particulier chez les habitants de Buhene.

Pour atteindre ces objectifs, la méthode d'enquête a été privilégiée. L'enquête s'est réalisée en recourant à une échelle d'exposition sur les événements traumatiques et une échelle d'estime de soi de Rosenberg. Nous les avons administrés de façon indirecte auprès de 50 personnes d'un quartier périphérique du parc (Buhene) au mois Juin 2021. Le traitement des données est réalisé grâce au logiciel SPSS (Statistical Package Social Science). Ce dernier nous a permis d'apprécier l'hypothèse émise à partir des scores moyens obtenus.

A l'issue des analyses, nous avons obtenu les résultats suivants: 24 sujets soit 48% de nos enquêtés ont une estime de soi faible, suivi de 22 sujets soit 44% ayant une estime de soi très faible et en fin, 4 sujets soit 8% seulement ayant une estime de soi moyenne. Vu ces résultats, nous trouvons que plus les congolais du Nord-Kivu en général et en particulier ceux de la ville de Goma sont exposés aux événements traumatiques (viol, guerres, kidnappings, déplacement forcés, éruption volcanique...), plus leur degré d'estime de soi devient trop faible. *Cette observation confirme notre hypothèse.*

Nous suggérons à cette occasion:

- Aux autorités politiques :

De rétablir l'ordre et la sécurité à l'est de la république démocratique du Congo en mettant fin aux groupes armés à des conflits régionalistes et tribaux, de prévenir les conflits fonciers en appliquant la justice, mais vu que les événements traumatiques sont inévitables quelques fois les autorités doivent mettre en place les services de prise en charge psychologique dans les cas urgents comme dans d'autres pays pour prévention.

- Aux acteurs en santé mentale :

De chaque fois éclairer les autorités des dangers que cours les populations à chaque fois qu'elle est exposée à des événements traumatisants pour que le gouvernement s'implique.

- A la population péri- urbaine :

De s'investir dans la recherche de la paix, la résolution des conflits, d'éviter le tribalisme et toute sorte pratique pouvant porter atteinte à l'intégrité physique et au bien être psychique de soi et d'autrui.

REFERENCES

- [1] Chalvin, D. (2017). Manager les personnalités difficiles, Ed. Prisma, Montréal. ISS N 1263-7807.
- [2] Christophe, A. et François, L. (1996). L'Estime de soi: s'aimer pour mieux vivre avec les autres. Paris, Odile Jacob.
- [3] Crocq, L. (2012). Seize leçons sur le trauma. Paris: Odile Jacob.
- [4] Grawitz, M. (1975). méthodes de recherche en sciences sociales, 2em éd. PUF, paris.
- [5] Marty (2001). Figures et traitement du traumatisme, Paris, Dunod, collection inconscient et culture.
- [6] White, J. (1963). The principals of psychology American science series: advanced course, New York.
- [7] Rosenberg, M. <http://www.psychomedia: qc.ca>test>.

Proposal of a dewatering system for uranium mineralization in the Tim Mersoï basin in Arlit region (North Niger): Case of the Apophyse Ariège deposit

Illias Alhassane¹, Abdou Babaye Maman Sani², Wagani Ibrahim², and Ousmane Boureima³

¹Department of Geology, Faculty of Sciences and Technology, P.O199, Agadez, Niger

²Departement of Geology, University Dan Dicko Dankouloudou, Faculty of Sciences and technology, MR SERMUG, P.O 465, Maradi, Niger

³Departement of Geology, Faculty of Sciences and Technology, university Abdou Moumouni of Niamey, P.O 10622, Niamey, Niger

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 Tarat aquifer provides water for the population (AEP) of the city of Arlit and Akokan, as well as for industrial water needs (AEI). However, in the mines, water can be an obstacle to mining. This study aims to contribute to a better understanding of the hydrodynamic functioning of the Tarat aquifer in order to design a dewatering device. A methodological approach focusing on the piezometric study and the mapping of hydrodynamic parameters allowed to highlight that the uranium mineralizations are below the piezometric level in the western, northern and central parts. The latter require dewatering, hence the installation of a system comprising three boreholes.

KEYWORDS: Hydrogeology, Dewatering, Hydrodynamics, Tarat aquifer, Niger.

1 INTRODUCTION

The western edge of the Air massif is a semi-arid region. Despite the scarcity of surface water, the locality of Arlit has considerable underground water resources and contains important uranium deposits. This uranium potential has been developed since the late 1970s by two companies: SOMAÏR (1969) and COMINAK (1976). The exploitation of this uranium resource has been accompanied by excessive pumping of the Tarat aquifer. In mines, although water is used in mining activities (dust suppression, ore processing), it can be a hindrance to mining operations ([1], [2]). The Tarat, an aquifer geological formation, also contains the mineralization. Thus, some deposits, such as the Ariège apophyse deposit, are below the static level of the piezometric level, hence the need to dewater the deposit. The main objective of the present study is to understand the hydrodynamic functioning of the Tarat aquifer in order to set up a dewatering device.

2 LOCATION OF THE STUDY AREA

The Arlit region is located in the North East of Niger, more precisely between longitudes 7°15' and 7°30' East and latitudes 18°15' and 19°00' North, with an average altitude of 400 m, limited to the East by the crystalline basement of the Air massif. (Fig.1). This region receives an average annual rainfall ranging from 120 mm in the Air massif (1000-2022 m altitude) to 40 mm in the plains [3], with an average annual evaporation of about 4100 mm [4].

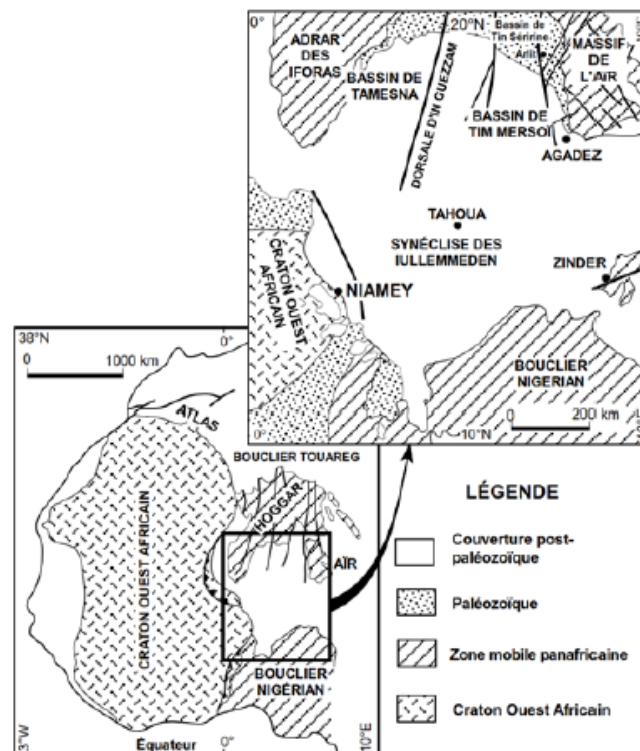


Fig. 1. Location of the Tim Mersoï basin in the Iullemeden syncline [5], [6]

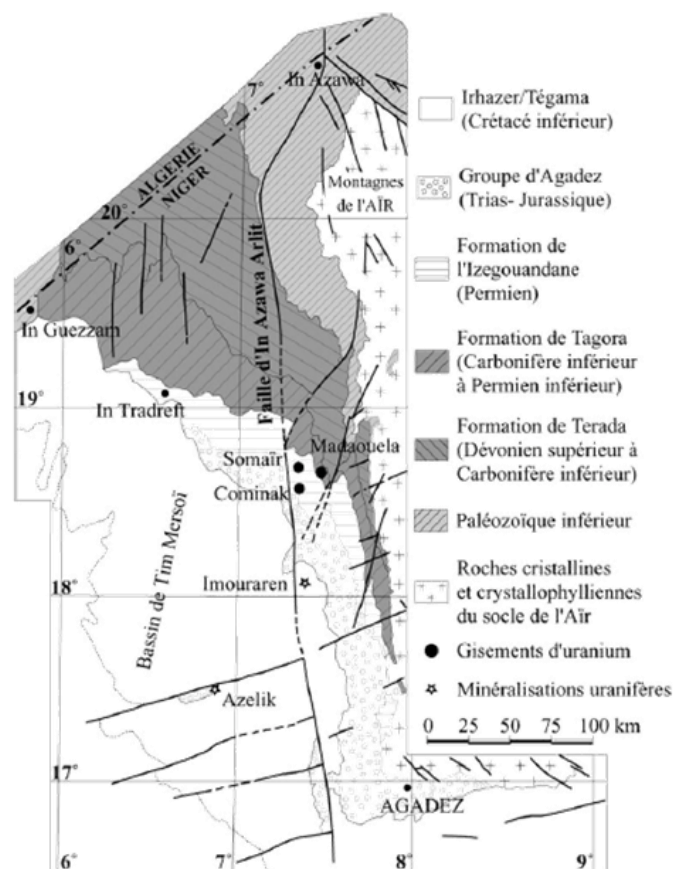


Fig. 2. Geological map of the Tim Mersoï basin along the western edge of the Air Massif [7]

3 GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE STUDY AREA

The Tim Mersoï basin is the northeastern extension of the Iullemeden syncline ([5], [8], [9], [10], [7]). It is limited to the east by the Aïr massif, to the north by the Hoggar massif, and to the west by the In Guezam ridge. It extends into Algeria where it is called the Tin Serririne basin [11]. (Fig. 1). The oldest sedimentary series are of Cambro-Ordovician age [12], and part of the basin contains a sedimentary cover with ages ranging from Devonian (Teraghy sandstone) to Lower Cretaceous (Tegama Group). Four major families of faults are recognized in the Tim Mersoï basin. These are the N0° fault system known as the Arlit fault, the N30° fault system of Madaouéla, the N70°- N80° Tin Adrar cluster and the N130° N140° faults ([13], [14]). The litho-stratigraphic column of the Tim Mersoï Basin (Fig.3) comprises two sequences: (i) a lower sequence represented by the Carboniferous grey formations (Farazekat, Talak, Guézouman, Tchinezogue, Tarat, Madaouéla and Arlit) and (ii) a summit sequence corresponding to red formations of Permian (Izégouande, Teja Tamamaït, Moradi) to Jurassic (Téloua) age ([12], [15], [16], [9]).

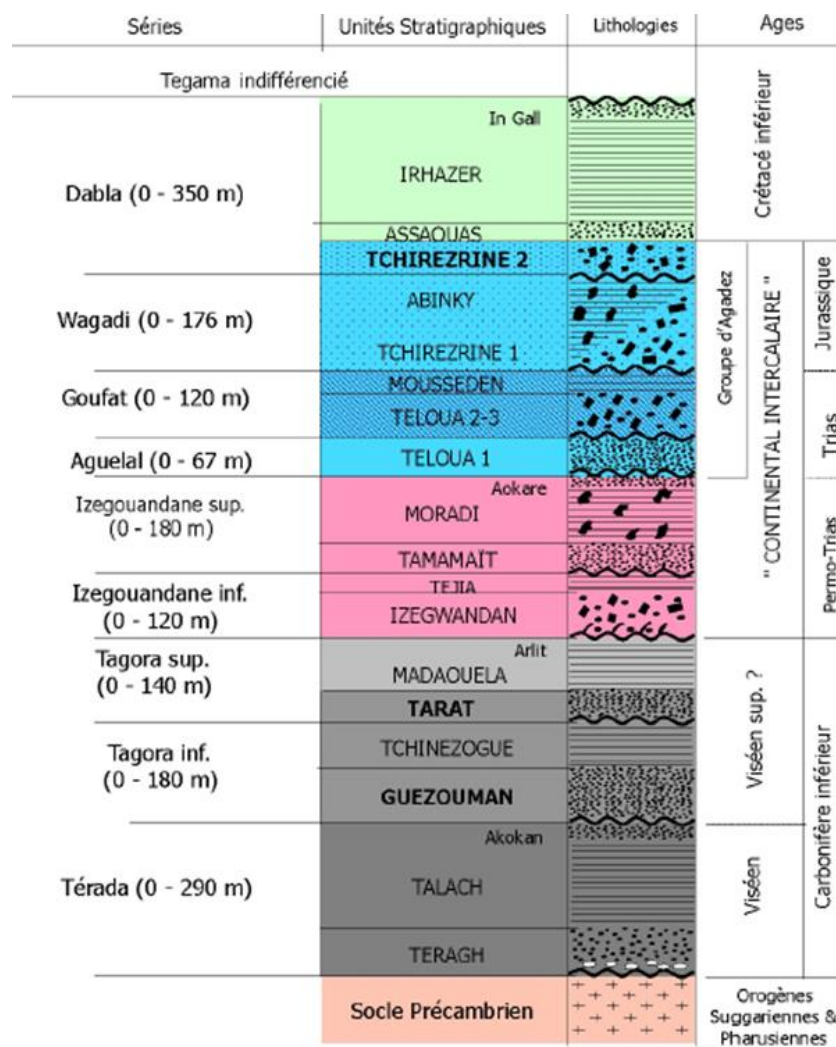


Fig. 3. Simplified lithostratigraphic column of the geological series of the Tim Mersoï basin on the western edge of the Aïr [15]

3.1 HYDROGEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE STUDY AREA

Hydrogeological studies conducted in the Arlit region have highlighted the presence of four permeable horizons constituting an aquifer system comprising from bottom to top the following aquifers: the Guezouman aquifer, the Tarat aquifer, the Izégouande aquifer and the Téloua aquifer ([17], [18], [19]).

Guezouman aquifer

Contained in the sandstone levels of the Guezouman, the host formation of the uranium deposits exploited by COMINAK [20], the Guezouman aquifer is characterized by significant lateral variations in thickness. The wall of the aquifer is represented by the Talak mudstone, while its roof corresponds to the Tchinezogue formation (very fine sandstone) [12], [8]. The Guézouman has a thickness varying from 30 to 70 meters for an average value of 40 meters. [21]. Transmissivities are also low, ranging from $1.5 \cdot 10^{-6}$ to $1.8 \cdot 10^{-4}$ m²/s. Storage coefficients are homogeneous values around $4.5 \cdot 10^{-5}$ [22].

Tarat aquifer

The Tarat aquifer is contained in coarse to medium sandstones of the Tarat Formation ([18], [23], [24]), the host deposit of uranium mineralization mined by SOMAÏR. The wall of the aquifer corresponds to the Tchinezogue formation, (very fine sandstone) while its roof is represented by the arkosic sandstones of the Izegouande. The thickness of the aquifer is subject to very large variations due to both tectonic structures and the mode of sedimentation related to the energy of the depositional environment ([5], [24], [19]). Transmissives range from $7.4 \cdot 10^{-5}$ to $1.1 \cdot 10^{-3}$ m²/s, and storage coefficients are on the order of 10^{-5} [22].

Izegouande aquifer

The reservoir consists of arkosic, coarse-grained sandstones with micro conglomeratic levels and pasts ([5], [16], [8]). The wall of the aquifer is constituted by the Arlit unit. The Izegouande is unconfined east of the Arlit fault, while west of the fault it is captive and overlain by the Moradi, Tamamaïte and Têjia formations. The transmissivities are also low and range between $1 \cdot 10^{-4}$ and $7.8 \cdot 10^{-5}$ m²/s ([23], [24]).

Teloua aquifer

The Teloua aquifer is made up of coarse to micro conglomerate sandstones is unconfined and outcrops only west of the Arlit fault line ([8], [24]). The aquifer wall is by the arkosic red sandstone of the Izegouande.

4 MATERIAL AND METHODS

The methodological approach is based on the determination of the roof and wall elevations of the Tarat aquifer from the data obtained from the development boreholes (elevation and wall elevations of the Tarat). In addition, piezometric level measurements are taken in each borehole to locate the piezometric levels.

Logging data (log resistivity, log gamma ray) from all the drill holes was used to accurately determine the depth of the mineralized envelopes. Data processing was done using the SERMINE software.

The flow chart in Figure 4 summarizes the different operations carried out.

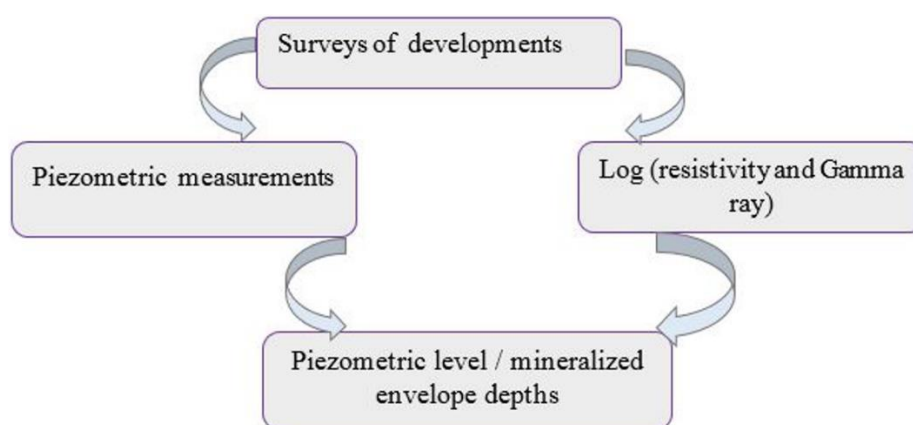


Fig. 4. Flow chart of the methodological approach implemented

5 RESULTS AND DISCUSSION

5.1 PIEZOMETRY OF THE ARIÈGE APOPHYSE SECTOR

In the Ariège apophyse sector, the piezometric level varies from 350 to 360 m. The analysis of the isopiezes curves (Fig.5) shows several directions on which the flow takes place. The flow is generally from N-W to S-E. At the extreme N-W, (AI_2823 and AI_2824), the constant spacing of the isopies indicates a uniform flow. In addition, the flow axes are divergent and reflect recharge from the Tarat nappe ([25], [26]). In the southwest, (piezometer AI_2794), the flow axes diverge towards the north and northeast directions while in the southeast the isopiezes curves tighten indicating an increasing slope of the piezometric surface towards piezometer AI_2740 where the isopiezes become disturbed.

The isopiezes are tight in the South-East and the flow axes are globally East, directed towards the piezometer AI_2793 indicating an increasing slope of the piezometric surface and a relatively strong hydraulic gradient towards the piezometer AI_2740.

In the center (AI_2817), the isopiezes curves become deformed and progressively narrower towards piezometer AI_2773. To the east, the flow axes converge towards the piezometers AI_2793, AI_2773.). This convergence towards the east indicates a discharge of the Tarat water table towards the Ariège pit where the water is pumped for industrial need [19].

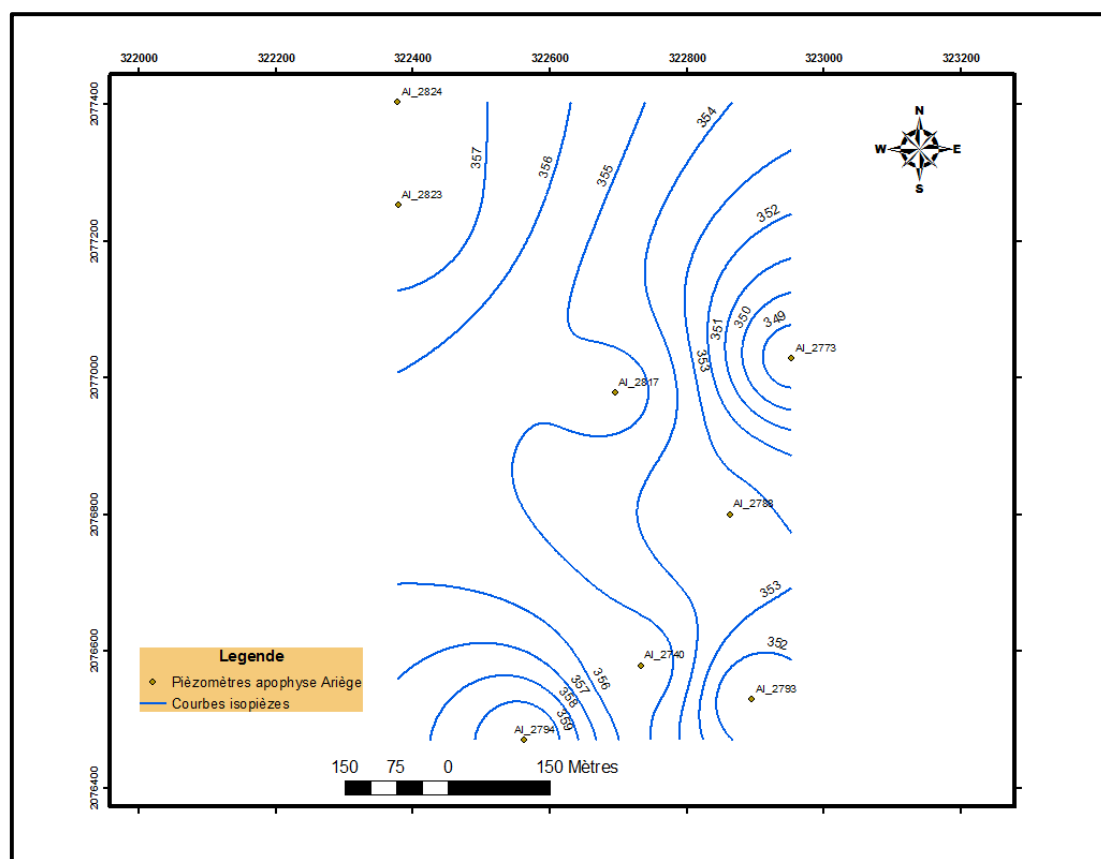


Fig. 5. Piezometric map of the Ariège apophyse sector

5.2 LOCATION OF THE ZONES TO BE DELINEATED

The North-South section (Fig. 6) gives the geometry of the mineralized envelopes as well as their dimensions in the Ariège apophyse prospect. By interpolation with the piezometric level (Fig.6), it appears that:

In the South, the wall of the mineralization is located at about 355 m while the static level of the water table is at 360 m. A part of the mineralized zones is above the static level of the water table, while another part is dipped under a water level of about 5m. This requires dewatering in this part.

In the center, the base of the mineralization is located at about 340 m, while the piezometric level is at 358 m, i.e. a water depth of about 18 m above the mineralized level.

To the north, most of the mineralization is above the water table. However, a small part of the mineralization is located under a water depth of about 3m.

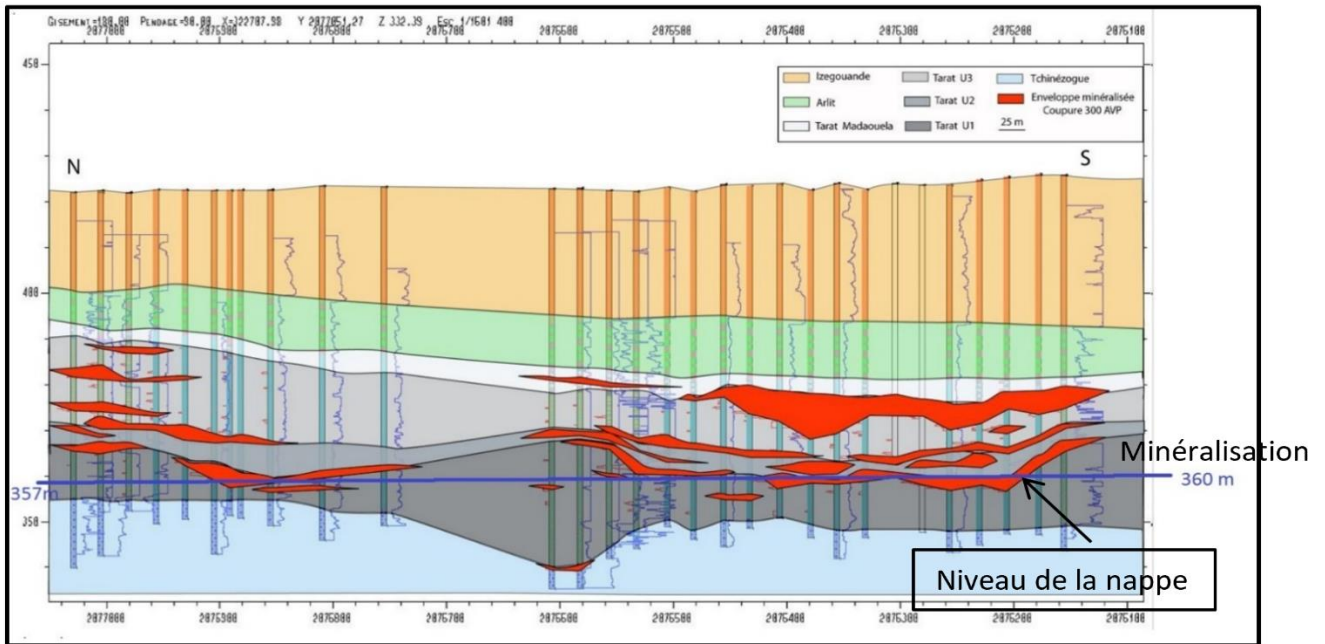


Fig. 6. North-South section and the level of the water table in relation to mineralization [19]

The East-West section (Fig. 7) shows that in the East, the mineralization is completely above the piezometric level. This indicates that mining can be carried out normally.

On the other hand, to the west, the wall of the mineralization is at elevation 353 m while the piezometric level is at 360 m. This shows that the mineralization is under a 7m water table.

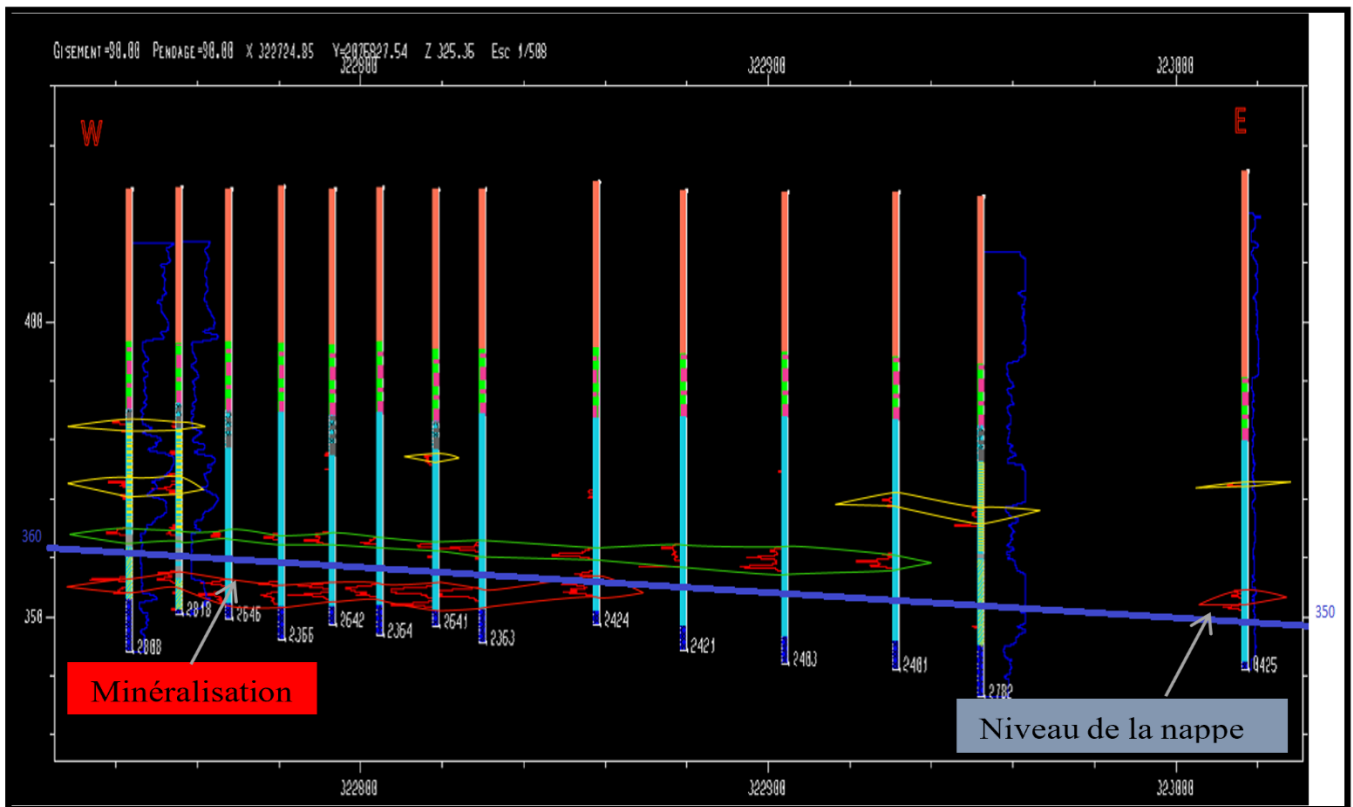


Fig. 7. East-West section mineralized level compared to the static level [19]

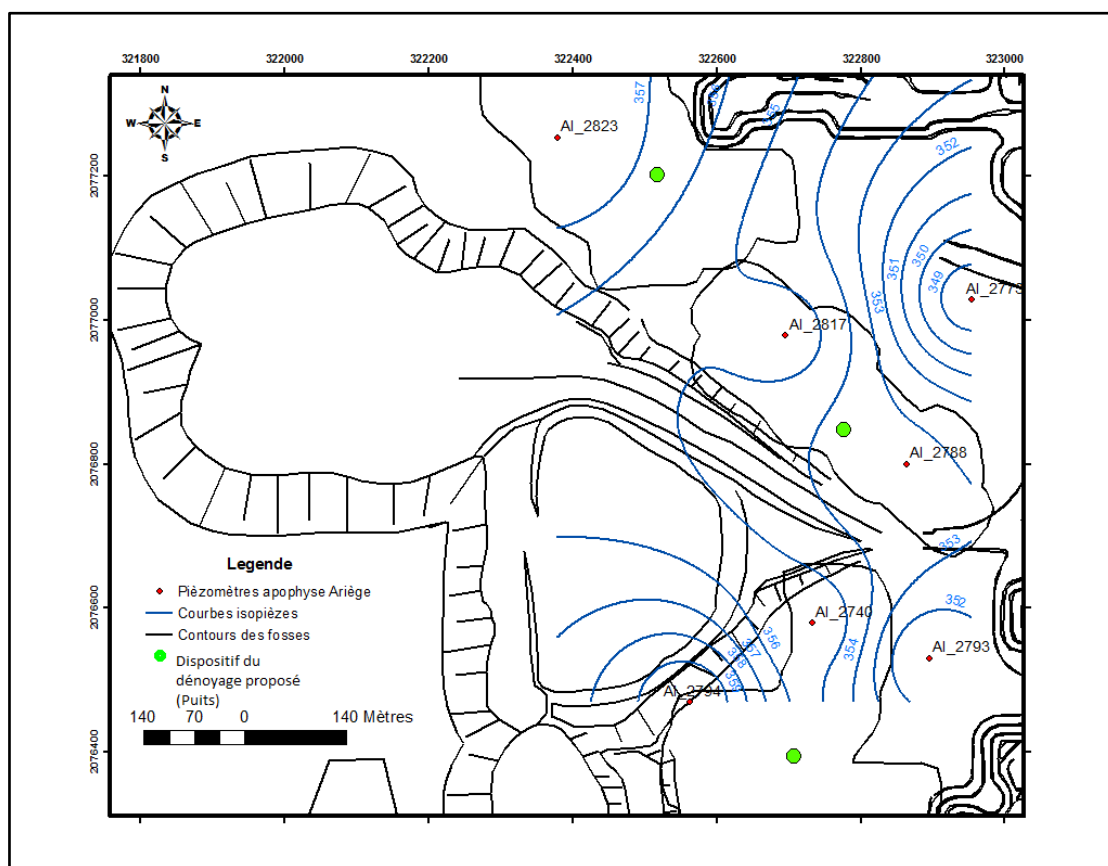


Fig. 8. Location of structures in relation to pits

Table 1. Location of structure

Borholes	WGS-84 X	WGS-84 Y	WGS-84 Z	Diameters
Well1	322957.8	2076791	355.4642	12"1/2
Well 2	322657	2077564	357.386	12"1/2
Well 3	322610.1	2077336	356.78	12"1/2

6 CONCLUSION

At the end of this study, it appears that most of the mineralization is above the water table. However, only a small part is drowned. These are the northern, western and central parts that require dewatering. Thus, it will be judicious to start mining the deposit in its eastern part.

At the level of the pits planned on the Ariège apophyse sector, only the central, North and West parts of the deposit require dewatering. This device includes three (3) pits inside the pits. In the eastern part, the piezometric level is towards the base of the mineralization, which allows for easy overburden removal.

REFERENCES

- [1] Collin J. les eaux souterraines, connaissances et gestion, 62p, 2004.
- [2] Golder.I. Sommaire de l'étude hydrogéologique, Osisko exploration malartic, Quebec, Canada, 28p, 2008.
- [3] Dodo A., Zuppi G.M. Variabilité Climatique durant le quaternaire dans la nappe du Tarat (Arlit, Niger), C. R. Acad. SCI. Paris. Sciences de la Terre et des Planètes, 1999.
- [4] Gallaire R. Hydrologie en milieu subdésertique d'altitude, Le cas de l'Aïr (Niger). Thèse Université Paris XI, p 380, 1995.
- [5] Valsardieu C. Etude géologique et Paléogéographique du Bassin de Tim Mersoï: Région d'Agadès (République du Niger), Thèse Université de Nice, 514 p, 1971.
- [6] Wright L. I., Branchet M., Alisso I. Notice explicative de la carte géologique du bassin houillier d'Anou Araren / Solomi. Ministère des Mines et de l'Énergie, Niger, 20 p, 1993.
- [7] Konaté M., Denis M., Yahaya M., Guiraud M. Structuration Extensive et Transtensive au Devono-Dinantien du bassin de Tim Mersoï (Bordure Occidentale de l'Aïr, Nord Niger), Annales de l'Université de Ouagadougou, Série C, Vol. 005, 1 - 32 p, 2007.
- [8] Yahaya M. Dynamique sédimentaire du Guézouman et des formations viséennes sous-jacentes en liaison avec la tectonique, le volcanisme et le climat. Mémoire Thèse Université de Bourgogne 355 p, 1992.
- [9] Olivier G. Evolution structurale du bassin de Tim Mersoï: déformations de la couverture sédimentaire, relations avec la localisation des gisements uranifères du secteur d'Arlit (Niger). Thèse de doctorat Université Paris XI Orsay, 234 p, 2006.
- [10] Wagani I. Potentialités uranifères des sources volcaniques envisageables pour la formation des minéralisations de la région d'Arlit (Niger). Thèse Univ. Paris XI, Orsay, 291 p, 2007.
- [11] Crochons P., Bottero S. Modèle mathématique de la nappe du Tarat dans la région d'Arlit- (Cogema Niger-Ecole Supérieure des Mines de Paris, 52 p, 2004.
- [12] Joulia F. Les séries primaires au N et au NW de l'Aïr (Sahara central). Discordances observées. Bulletin de la Société Géologique de France, 192-196 p, 1959.
- [13] Semperé T. Le contexte sédimentaire du gisement d'uranium d'Arlit (République du Niger). Mémoire Thèse, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 374 p, 1981.
- [14] Semperé T. et Beaudouin B. Discontinuités et séquences dans la formation de Tarat (viséen sup.) et l'unité d'Arlit (Namuro-Wesphalien) à Arlit (Niger). Evolution sédimentaire, climatique et tectonique dans la région au carbonifère. Bull. soc. géol. Fr, 26 (6), p 995-1014, 1984.
- [15] Cazoulat M. Geologic environment of the uranium deposits in the carboniferous and Jurassic sandstones of the western margin of the Air Mountains in the republic of Niger, 1985.
- [16] Krebs. Simulation prévisionnelle du comportement de la nappe du Tarat -Rapport final, n°FG/REHA/607,58/97,002, 1997.
- [17] Coste I.T. Hydrogéologie CEA- GAM Mission d'Agadez, p122-128, 1972.
- [18] Dodo A. Etude des Circulations Profondes le Grand Bassin Sédimentaire du Niger: identification des aquifères et compréhension de leurs fonctionnements. Thèse Université de Neuchâtel, p101 1992.
- [19] Illias A. Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du Tarat-Quantification et optimisation du dispositif de dénoyage: cas du prospect apophyse Ariège. Mémoire de fin de cycle, Master Hydrogéologie, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger), 68 p, 2012.
- [20] Bigotte G., et J. M. Obelianne. Découverte de minéralisations uranifères au Niger. Mineral. Deposite, 3- p 317-333, 1968.
- [21] SCETAGRI. Nappes aquifères de la région d'Arlit, Synthèse hydrogéologie-Nappe du Guézouman, Juillet, 1985.
- [22] AMAN. Reconnaissance hydrogéologique, Rapport de synthèse, Equipe Aman, p 102, 2012.
- [23] SCETAGRI. Nappes aquifères de la région d'Arlit, Synthèse hydrogéologie -Nappe du Tarat, 1985.
- [24] AMAN. Synthèse hydrogéologique de la nappe du TARAT, p 130-156, 2004.
- [25] Boko A.B, Konaté. M, Rabani. A, Alassane. A. Contribution du système de fracturation à la recharge des aquifères du bassin de Tim Mersoï (Nord Niger), Rev. CAMES-vol.05 Num.01, 2424-7235, 2017.
- [26] Illias. A, Babaye Abdou M.S, Baraou I.S, Ousmane B. Influence du système de fracturation sur le fonctionnement hydrodynamique de la nappe du Tarat, Bassin de Tim Mersoï, Nord Niger, Afrique Science, 15 (4) 81-95, 2019.

Restauration de rue: Effets socio-économiques et risques sanitaires dans la ville de Djougou (nord-ouest Bénin)

[Street of food: Socio-economic effects and health risks in the city of Djougou (north west of Benin)]

Assouni Janvier

Département de Géographie et Aménagement du territoire, Université de Parakou, Benin

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 risk of serious food poisoning associated with street foods remains a threat in many countries around the world. In spite of these risks, people are looking for cheaper food. The objective of this research is to understand the socio-economic importance of street food and the related health risks in the town of Djougou.

The methodological approach adopted is based on documentary research and investigations in the real environment. Within the framework of this research, 250 people (consumers, vendors, health workers, local authorities and resource persons) were surveyed. The results were analyzed using the SWOT model.

This research shows that the town of Djougou has several street food outlets. Ninety-seven percent of this activity is run by women between the ages of 20 and 50. The price of the dishes varies between 300 and 1000 FCFA. This activity remains a potential source of income for these actors. Thus, the average income of the women restaurant owners varies between 2500 and 4500 FCFA. The income from this activity is used for various purposes by the restaurant owners. In addition, the lack of hygiene, poor cooking conditions and lack of food protection lead to health risks for consumers. Faced with this situation, it is urgent that appropriate measures be considered in order to reduce the health risks related to the consumption of street foods and to guarantee the health of consumers.

KEYWORDS: Town of Djougou, street food, socioeconomic impact, health risks, measures.

RESUME: Le risque d'intoxications alimentaires graves associé aux aliments vendus sur la voie publique reste une menace dans de nombreux pays du monde. Malgré ces risques, l'homme cherche à s'alimenter à moindre coût. L'objectif de cette recherche est d'appréhender l'importance socioéconomique de la restauration de rue et les risques de santé qui y sont liés dans la ville de Djougou.

La démarche méthodologique adoptée repose sur la recherche documentaire et les investigations en milieu réel. Dans le cadre de cette recherche, 200 personnes (consommateurs, vendeurs, agents de santé, autorités locales et personnes ressources) ont été soumises aux enquêtes. L'analyse des résultats est faite à l'aide du modèle SWOT.

Il ressort de cette recherche que la ville de Djougou regorge de plusieurs points de vente d'aliments de rue. Cette activité est animée à 97 % par des femmes dont la tranche d'âge est comprise entre 20 à 50 ans. Le prix des plats varie entre 300 et 1000 FCFA. Cette activité reste une source potentielle de revenus pour ces acteurs. Ainsi, le revenu moyen des restauratrices varie entre 2500 et 4500 FCFA. Les revenus issus de cette activité sont utilisés à des fins diverses par les restauratrices. Par ailleurs, le manque d'hygiène, les mauvaises conditions de cuisson et l'absence de protection des aliments entraînent des risques sanitaires chez les consommateurs. Face à cette situation, il est urgent que des mesures idoines soient envisagées afin de réduire les risques sanitaires liés à la consommation des aliments de rue et garantir la santé aux consommateurs.

MOTS-CLEFS: Ville de Djougou, restauration de rue, incidences socioéconomiques, risques sanitaires, mesures.

1 INTRODUCTION

Les problèmes de santé et d'hygiène des aliments sont des questions primordiales (P. C. A. Vonan et J. A. Agobé, 2015, p.193). En effet, la sécurité alimentaire sur le plan hygiénique et la santé reste précaire en Afrique (T. J. Compaoré et al, 2008, p9). La croissance démographique urbaine s'accompagnant d'un développement de la consommation alimentaire hors du domicile. L'alimentation de rue constitue de nos jours un nouveau mode alimentaire en pleine expansion dans les centres urbains de nos pays (D. Lokangila Molisho,

2013, p 19). En effet, l'expansion des villes africaines et les changements de mode d'alimentations dus à l'activité des populations ont accru ces dernières années, une prolifération des points de vente des aliments de rue. La restauration de rue s'est considérablement développée au cours des dernières années. Elle permet une prise en charge de l'alimentation du ménage par le biais de l'achat de plat préparé au dehors. A cet effet, pour les ménages vivant dans les conditions difficiles et précaires, il est moins coûteux d'acheter un plat pour le groupe que le préparer à domicile (F. Kouessi et A. Metonou, 2016, p. 9).

L'alimentation de rue est une réalité sociale du Bénin. Elle est d'une importance socio-économique capitale tant pour les restaurateurs ainsi que la clientèle. Ce secteur a pris une dimension toute particulière dans les villes où l'urbanisation rapide et les difficultés économiques ont favorisé l'augmentation du nombre des vendeurs d'aliments sur la voie publique (F. Kouessi et A. Metonou, 2016, p. 10). Il constitue une solution aux nombreux problèmes et besoins alimentaires des citoyens. Cependant, l'absence de conditions hygiéniques dans la mise sur le marché de ces denrées alimentaires constitue une menace pour la santé des populations. En effet, les repas de rue ne jouent pas pleinement leurs rôles nutritifs puisqu'ils sont source de contamination du fait des mauvaises pratiques d'hygiène lors de la manipulation des aliments.

La ville de Djougou n'échappe à ce phénomène d'alimentation de rue. Les aliments vendus aux abords des voies et des places publiques représentent une part importante de la consommation alimentaire dans cette ville. Les populations de cette ville ne s'occupent pas de leur ménage préfèrent s'alimenter dans ces restaurants à moindre coût. Des éléments socio-économiques contribuent à l'essor de la restauration de rue à Djougou. Il s'agit de la pauvreté monétaire des ménages et de la présence des migrants vivant seuls en situation de précarité ou ayant de faibles revenus.

La ville de Djougou est caractérisée par des conditions insuffisantes d'approvisionnement en eau potable et d'évacuation des déchets ménagers et où le taux de prévalence de l'épidémie de choléra est grand (C. Lègba et al, 2017, p). De même, cette ville se caractérise par une précarité de l'hygiène et un faible taux de couverture des ouvrages d'assainissement à tous les niveaux.

Dans la ville de Djougou, le recours à la restauration de rue est progressivement passé de l'état d'habitude à un comportement culturel, qui n'est pas sans incidence sur la santé des populations. Le fort taux de recours à la restauration de rue n'est pas sans répercussions sur la santé des populations en cette période de pandémie de covid 19.

Malgré son importance, l'alimentation de rue pose plusieurs problèmes de santé dus aux toxi-infections alimentaires dans cette ville en islamisée.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Outils et techniques de collecte :

- Guide d'entretien pour l'enquête socio-économique;
- Fiche d'enquête pour l'enquête de la population cible;
- Appareil photo numérique pour la prise de photos d'illustration;
- GPS pour la prise de coordonnées géographique.

2.1 PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

La ville de Djougou est située au nord-ouest du Bénin. Comprise entre 9° 39' et 9°50' de latitude Nord d'une part et 1° 34' et 1° 47' de longitude Est d'autre part. Elle s'étend sur une superficie de 234 km². Elle est limitée au nord par l'arrondissement de Belefoungou, à l'ouest par l'arrondissement de Baréi, au sud par les arrondissements de Sérou et de Pélébina et à l'est par l'arrondissement de Bariénou. La ville de Djougou, chef-lieu du département et de la commune est située à environ 450 km de Cotonou (Figure 1).

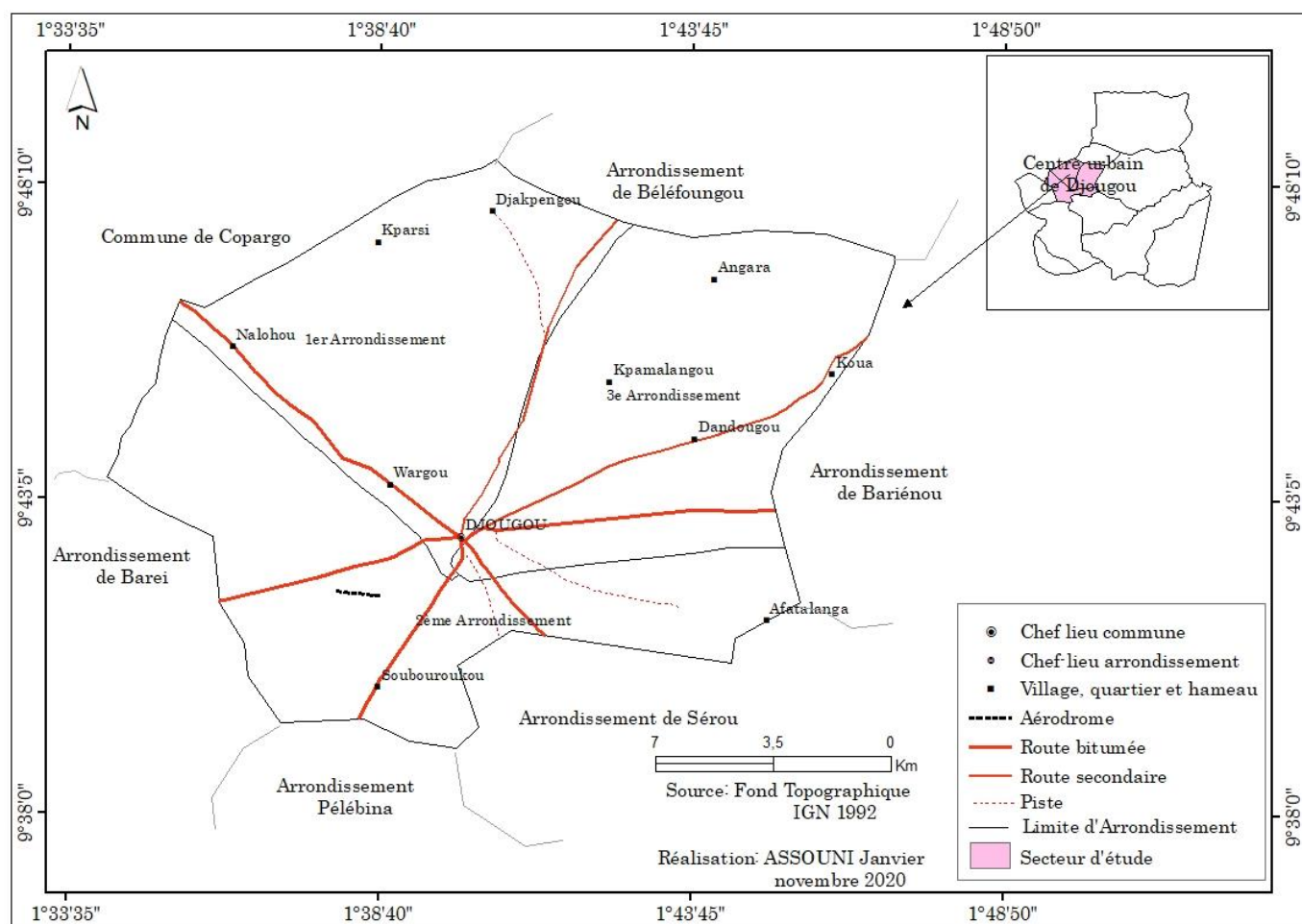


Fig. 1. Situation géographique de la ville de Djougou

2.2 MÉTHODES

La démarche méthodologique adoptée repose sur la recherche documentaire et les enquêtes de terrain.

2.2.1 DONNÉES COLLECTÉES

Les données collectées dans le cadre de cet article sont:

- Les caractéristiques sociodémographiques des vendeurs;
- Les points de vente des aliments de rue;
- Les pratiques alimentaires;
- Les plats proposés;
- Les caractéristiques sociodémographiques des consommateurs et leurs provenances;
- Le nombre de repas par jour;
- La fréquence de consommation des aliments de rue;
- Les revenus moyens des vendeurs;
- Les maladies liées à la consommation d'aliments de rue;
- Les causes des maladies;
- Les moyens de lutte contre les maladies liées à l'alimentation de rue.

2.2.2 ECHANTILLONNAGE

La taille de l'échantillon est déterminée par la formule $n = Z\alpha^2 \times p \times (1-p) / i^2$

Avec n : la taille de l'échantillon; Z_{α} : une constante égale à 1,96 pour un niveau de confiance de 95 %; p : proportion des ménages qui ont adopté comme nourriture les aliments de rue par rapport à l'effectif total des ménages de la ville de Djougou (environ 40 %); i : marge d'erreur fixée à 6 %.

$$n = (1,96)^2 \times (0,4) \times (0,6) / (0,06)^2 = 144,06 \approx 145$$

$n = 145$ ménages enquêtés

Dans chaque ménage, une personne est soumise aux investigations.

A ces consommateurs, s'ajoutent 30 vendeurs des aliments de rue, 15 aides vendeurs, 03 élus locaux, 01 agent du service des affaires économiques de la mairie de Djougou, 02 agents de santé, le directeur départemental de la santé et 03 personnes ressources. Au total, 200 personnes ont été enquêtées dans le cadre de cette recherche.

2.2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées, une fois dépouillées ont été traitées et analysées au moyen du logiciel SPSS 17. Une analyse documentaire a permis de compléter les informations recueillies auprès des acteurs. Des tableaux et figures sont réalisés avec les tableurs Excel à partir des données quantitatives. Pour ce qui concerne les données qualitatives, nous avons réalisé un recoupement des différents points de vue issus des entretiens. L'analyse des résultats est faite à l'aide du modèle SWOT.

3 RÉSULTATS

3.1 POINTS DE VENTE DES ALIMENTS DE RUE

Dans la ville, on dénombre 48 restaurants de rue à savoir 18 restaurants d'igname pilée, 15 de riz, 15 cafétérias. La figure 2 situe ces restaurants de rue à Djougou.

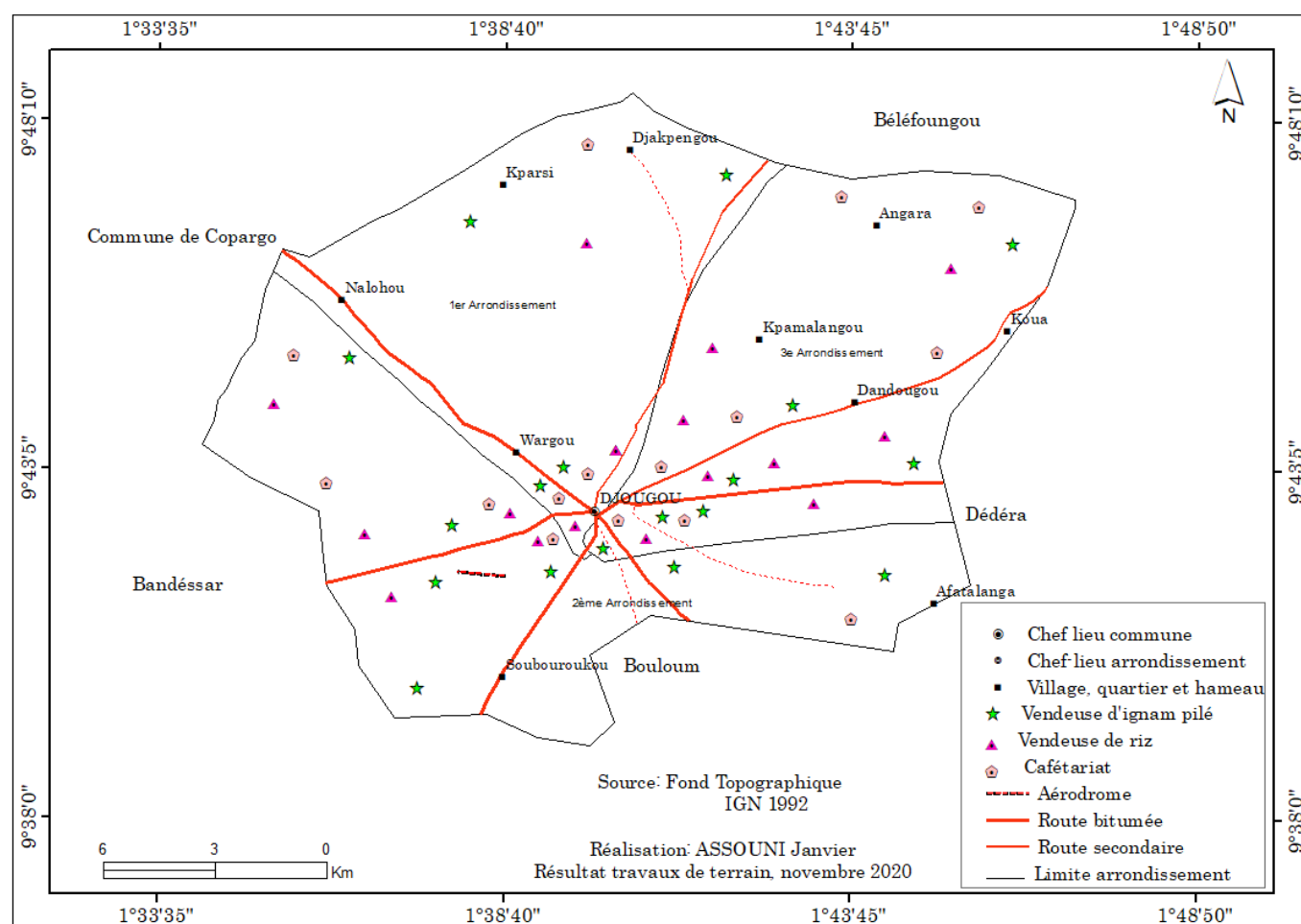


Fig. 2. Situation des restaurants de rue dans la ville de Djougou

Il ressort que dans la commune de Djougou que les points de vente des aliments de rue sont d'une grande diversité dans les arrondissements urbains. Ces différents points de vente se localisent tous au bord des routes bitumées et des routes principales. Ils se situent au niveau des lieux d'affluence tels que les marchés, les gares routières, surtout dans les zones de fortes activités économiques et de fortes concentration démographiques. C'est le cas des vendeuses de riz installées le long d'une route bitumée au sud-ouest de la ville de même que pour les vendeuses d'igname pilée et de riz au gras installées respectueusement au nord-est et au nord-ouest de la commune tous les longs des routes bitumées.

Pendant les enquêtes, nous avons identifié de façon générale trois types de restaurants de rue dans la ville de Djougou avec des mets différents.

L'activité de restauration est marquée par une grande dispersion. Ce commerce s'effectue aussi bien dans les quartiers centraux (urbains) qu'en périphérique. Cette multiplication des sites de vente s'explique par le fait que 97 % des vendeurs d'aliments de rue ne loue pas leurs sites de vente. Ces sites de vente s'observent dans les lieux tels que: les marchés, les gares routières, au bord des grands axes routiers et les places publiques. Ainsi, l'ensemble de ces sites constituent des points de vente non négligeables en raison des mouvements des personnes dans ces différents coins à longueur de journée. Les photos 1 et 2 montrent des restaurants de rue dans la ville de Djougou.



Photo 1: Restaurant de rue à côté de la gare routière de Lémane Mandè à Djougou 2

Prise de vue: Assoumanou, mars 2016



Photo 2: Restaurant de rue en face du marché Taïfa dans Djougou 1

Prise de vue: Assoumanou, mars 2016

Les photos 1 et 2 présentent des restaurants de rue dans la ville de Djougou. La photo 1 montre un conducteur de taxi-moto dans un restaurant de rue à la gare routière de Lémane Mandè attendant d'être servi son repas. La photo 2 présente un client au restaurant de rue en face du marché Taïfa dans la ville de Djougou.

3.1.1 TYPES DE RESTAURANTS DE RUE ET PLATS PROPOSÉS À DJOUGOU

Le tableau I présente les types de restaurants rencontrés dans la ville de Djougou.

Tableau 1. Différents types de restaurants de rue et leurs mets

Types de restaurants	Pourcentage	Aliments vendus
Restaurants fixes	25 %	Igname pilée, pate de cossette d'igname, pate de maïs, riz + haricot, poisson, viande, fromage.
Restaurants à ciel ouvert	45 %	Waké, wassa-wassa, toubani, akassa, riz, bouillie + baigné, dambou, viande fumée, pâte de riz.
Restaurants ambulants	30 %	Bouillie, toubani, fourah, viande fumée, wassawassa, riz

Source: Enquêtes de terrain, novembre 2016

D'après les données du tableau 1, on distingue trois types restaurants dans la ville de Djougou: les restaurants fixes, les restaurants à ciel ouvert et les restaurants ambulants. Les restaurants fixes sont des restaurants de rue dans l'emplacement reste fixe et bien érigé. Il s'agit des cafétérias, des restaurants de rue bien bâtis. Les restaurants à ciel ouvert sont des lieux de restauration non bâti, des restaurants à l'air libre ou sous les arbres. Quant aux restaurants ambulants, il s'agit de la vente ambulante des mets aux abords de voies. Ici, c'est le vendeur qui se déplace vers les clients.

Les plats proposés aux populations de la ville de Djougou sont variés. Les plats plus proposés sont le riz, l'igname pilée, la pâte de maïs, pâte de cossette, les frites, le spaghetti, les mets locaux tels que *wassa-wassa* (cous-cous africain), l'*akassa*, *toubani* (pâte obtenue à partir du mélange de la farine de cossette d'igname et de la farine du haricot).

3.1.2 ASPECT SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES RESTAURATEURS À DJOUGOU

Cette activité est animée à 97 % par des femmes dont la tranche d'âge est comprise entre 20 à 50 ans. Selon les résultats des enquêtes, l'effectif élevé des femmes dans le secteur de la vente des aliments de rue témoigne de leur volonté d'assurer les besoins alimentaires de leurs familles et d'être indépendantes vis-à-vis de leurs maris car selon 95 % des femmes enquêtées, il ne faut rien attendre des maris; les hommes de Djougou ne prennent pas en charge le ménage. Cela revient à la femme.

Pour ce qui est du niveau de scolarisation des vendeuses ou restaurateurs, 88 % ne sont pas alphabétisés en français, 12 % ont le niveau primaire.

Le tableau 2 met en exergue la tranche d'âges des restaurateurs.

Tableau 2. Tranche d'âges des restaurateurs enquêtés

Tranche d'âges	Pourcentage (%)
20- 25	8
25 - 30	12
30 – 35	15
35 - 40	23
40 - 45	22
45 - 50	17
50 à Plus	03
Total	100

Source: Enquête de terrain, novembre 2016

Les vendeurs d'aliments de rue ayant un âge compris entre 20 et 25 ans sont 8 %. 72 % des vendeurs des aliments de rue sont des personnes dont la tranche d'âges varie de 25 à 45 ans. Les restaurateurs ayant un âge compris entre 45 à plus de 60 ans représentent 20 %.

En ce qui concerne la situation matrimoniale des restaurateurs, selon les enquêtes de terrain les mariés (56 %) sont plus nombreux du fait que cette permet de subvenir aux besoins de leurs familles, les divorcés (35 %) et les célibataires (9 %) quant à eux, s'occupent généralement de leurs propres besoins tout en luttant contre le chômage.

3.1.3 ASPECT SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES CONSOMMATEURS DES ALIMENTS DE RUE À DJOUGOU

Les consommateurs des aliments de rue sont entre autres les artisans, les commerçants, les élèves, les fonctionnaires et les transporteurs. Selon les résultats des enquêtes de terrain, 60 % des consommateurs des aliments de rue sont des célibataires et

particulièrement de sexe masculin. Les hommes mariés occupent 28 % des consommateurs des aliments de rue parce que le djougois ne donne pas l'argent pour la nourriture du ménage.

3.2 INCIDENCES SOCIOÉCONOMIQUES DE LA VENTE DES ALIMENTS DE RUE À DJOUGOU

La totalité des consommateurs enquêtés évoque leur faible pouvoir d'achat et le prix abordable des repas comme les principales raisons de la consommation des aliments de rue. Cela se lit dans les propos d'un enquêté qui dit « *quand on n'a pas assez d'argent, on mange ce qu'on trouve et non ce qu'on veut* ». Selon les résultats des enquêtes, le prix des plats varie entre 300 et 1000 FCFA. 45 % des consommateurs enquêtés affirment avoir consommé les aliments de rue trois fois dans la journée; 37 % en consomment deux fois et le reste (18 %) consomme une fois par jour.

Le nombre d'acheteurs varie selon le type de restaurants de rue, la période de l'année et la quantité de mets cuisinés. Ainsi, pendant le mois du carême, les ventes diminuent considérablement du fait que les 95 % des clients sont musulmans. Pendant cette période, le nombre de clients peut varier entre 15 et 30 par jour par restaurant de rue. En dehors de cette période, le nombre de clients peut atteindre en moyenne 75 à 100 par jour par restaurant de rue.

Pour la totalité des vendeurs, cette activité reste une source potentielle de revenus pour ces acteurs. Ainsi, le revenu moyen journalier des restauratrices varie entre 2500 et 4500 FCFA. Ces restauratrices utilisent une main d'œuvre rémunérée. D'après les résultats des enquêtes de terrain, les aides gagnent entre 15000 et 20000 FCFA par mois.

Les revenus issus de cette activité sont utilisés à des fins diverses par les restauratrices. Par cette activité, ces femmes arrivent selon elles à se compter en acteurs directs dans la vie de leurs ménages. Ainsi, grâce aux revenus de cette activité, elles affirment avoir une autonomie financière leur permettant de pouvoir faire grâce aux gains, toute leurs emplettes pour le repas quotidien sans attendre forcément leur époux. Ces femmes arrivent aussi à contribuer au paiement des frais d'écolage de leurs enfants, en un mot à prendre en charge les petites dépenses dans leurs foyers respectifs nous confie 72 % des femmes vendeuses des aliments de rue enquêtés. Elles organisent également des tontines (journalières ou mensuelles) à base des gains issus de cette activité. Ce qui permet à ces dernières d'investir dans plusieurs autres secteurs d'activités notamment commerciales comme dans la vente des produits divers (pâte alimentaire, lait, tomate en boîte, sucre, etc.). Pour 75 % des enquêtés, ce mode d'alimentation est devenu un phénomène des sociétés modernes et permet à plus de 80 % des populations urbaines de satisfaire leurs besoins nutritionnels. Il génère des revenus permettant à de nombreux ménages de subvenir à leurs dépenses et crée des emplois pour de nombreuses personnes sans qualification ni instruction scolaire.

3.3 RISQUES SANITAIRES DE LA RESTAURATION DE RUE

Bien que la restauration de rue soit une source d'alimentation à moindre coût, qu'elle permet de satisfaire les besoins nutritionnels des populations de la ville de Djougou et qu'elle génère des revenus, cette activité est source risques sanitaires.

Selon les consommateurs enquêtés, des cas d'intoxication alimentaires causés par les aliments de rue ont été répertoriés. Pour eux, la cause de ces cas d'intoxication est le manque d'hygiène et d'assainissement des lieux de vente des aliments de rue. Pour ces consommateurs, le nettoyage de la vaisselle et des lieux de vente est souvent effectué par aides même si les conditions sanitaires requises pour ce type d'opération ne sont pas suivies.

Selon les consommateurs, le non-respect des règles hygiéniques de base constitue un problème de santé publique. En outre, ils notent le mauvais nettoyage des aliments surtout les légumes frais consommés crus, des ustensiles de cuisine, les mauvaises conditions de conservation des invendus, la vente à proximité des ordures ménagères, l'exposition des aliments aux mouches comme d'autres causes des risques sanitaires liés aux aliments de rue. La photo 2 montre un restaurant à proximité d'un tas d'ordures à Djougou.



Photo 2: Restaurant de rue à proximité d'un tas d'ordures ménagères à Yaroua (Djougou).

Prise de vue: Assoumanou, mars 2016

La photo 2 montre un restaurant de rue à proximité d'un tas d'ordures ménagères au quartier Yaroua dans la ville de Djougou.

Selon le médecin l'alimentation de rue fait apparaître de graves problèmes d'hygiène et d'insalubrité inhérents à l'inobservation des règles élémentaires d'hygiène dans la préparation, la vente et la consommation des aliments vendus. Ainsi, le manque d'hygiène affecte la vente de nombreux aliments de rue tels que les poissons, les viandes de boucherie et de volaille, les produits maraîchers, les farines de céréales, les rôtis de porcs, les aliments vendus à côté des latrines publiques mal entretenues et ou dans un environnement insalubre.

Ainsi, selon lui, la multiplication des restaurants de rue peut devenir une véritable menace pour la santé publique en raison du laxisme des autorités dans le processus de contrôle de ces sites qui foulent aux pieds les règles de l'hygiène alimentaire. En attestent des manquements à ces règles durant les préparations avec l'utilisation d'eau non potable sous forme de boissons diverses ou sous forme de glaçon, de vaisselle impropre ou insuffisamment nettoyée, l'utilisation de matières premières et ingrédients de mauvaises qualités qui exposent les consommateurs à plusieurs maladies d'origine alimentaire telles que la diarrhée, le choléra, la fièvre entérique (typhoïde), les maladies de peau, l'intoxication alimentaire, les vers intestinaux etc.

Pour le directeur départemental de la santé de la Donga dont relève la ville de Djougou, les épidémies de choléra sont légion dans la ville et sont provoquées par des aliments contaminés. Et les maladies diarrhéiques occupent le premier rang sur la liste des motifs de consultation dans nos formations sanitaires à Djougou.

Selon lui, les cas d'intoxication alimentaire intervenus dans la ville ces dernières années témoignent de l'ampleur du danger. Ces cas de contaminations, imputables aux mauvaises pratiques hygiéniques depuis la préparation jusqu'à la consommation des aliments, à la substitutions par des vendeurs des ingrédients de qualité passable ou bon marché à des ingrédients coûteux, l'utilisation des additifs alimentaires interdits, l'usage courant des emballages de fortune (papiers de sacs de ciment, papiers de journaux conservés dans des endroits douteux, de matériaux biodégradables pour emballer les aliments en lieu et place des sacs de polythène actuellement utilisés, la qualité hygiénique de l'eau servant aux multiples manipulations des aliments, à la vaisselle et à la boisson non garantie...ont coûté la vie à de nombreuses personnes et laissé de graves séquelles à d'autres qui ont été épargnées.

L'utilisation des matières premières et ingrédients de mauvaise qualité ou en décomposition, d'eau non potable sous forme de boissons diverses.

Les risques d'intoxication alimentaires individuelles sont une menace permanente pour les consommateurs d'aliments de rue.

La consommation régulière de collations vendues dans les restaurants de rue pourrait causer des maladies chroniques telles que l'obésité, le diabète, les maladies cardiaques car ces aliments sont riches en sucre. Beaucoup de ces aliments de rue sont sources de maladies inflammatoires, le cancer et l'intoxication alimentaire. La plupart des vendeurs font frire les aliments dans une huile surexploitée, ce qui provoque des désastres sanitaires et des maladies cardiaques et le diabète.

Face aux dangers encourus par les populations dans le recours à l'alimentation de rue, Les consommateurs et les vendeurs doivent prendre conscience afin d'éviter le pire car chacun doit se sentir concerné d'abord par sa propre santé. La direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base doit œuvrer à la formation et au recyclage des vendeurs en vue de les aider à améliorer leurs pratiques et attitudes en matière d'hygiène alimentaire, au renforcement du contrôle de la salubrité et de la qualité des aliments. Elle doit mener des campagnes de sensibilisation de longue durée sur les notions d'hygiène à l'endroit des vendeurs et consommateurs des aliments de rue.

4 DISCUSSION

L'alimentation de rue constitue de nos jours un nouveau mode alimentaire en pleine expansion. Ce résultat vient confirmer les travaux de Y. Berton Ofouémé (2007, p323) qui pense que la restauration de rue est marquée par un dynamisme attribué à la conjugaison de divers facteurs d'ordre géographique, économique et culturel.

Le phénomène de la consommation des aliments se pose essentiellement en termes d'accès économique à l'alimentation, c'est-à-dire en termes de revenus donc de pouvoir d'achat. Ainsi, l'alimentation de rue est une activité profitable aux vendeurs dont les revenus augmentent relativement. Ce résultat confirme les travaux de T. J. Compaoré et *al.*, (2008, p10) qui pensent que ce mode d'alimentation qui est devenu un phénomène des sociétés modernes permet à plus de 80 % des populations urbaines de satisfaire leurs besoins nutritionnels, génère des revenus permettant à de nombreux ménages de subvenir à leurs dépenses et crée des emplois pour de nombreuses personnes sans qualification ni instruction scolaire

La consommation des aliments de rue affecte la santé des populations. Ce résultat vient confirmer les travaux de M. G. M. Aholou et L. R. Mongbo (2019, p. 352) qui pensent que la situation alimentaire des villes africaines en Afrique subsaharienne demeure préoccupante malgré l'apparence de bien-être qu'elle présente. Il corrobore aussi les résultats obtenus par Y. Berton Ofouémé (2007, p335) qui pense que le non-respect des normes d'hygiène de base constitue un problème de santé de publique et porte préjudice aux restaurateurs. Ce résultat vient renforcer ceux T. J Compaoré et *al.*, (2008, p8) pour qui des analyses microbiologiques réalisées sur les aliments de rue ont montré une insuffisance de la qualité microbiologique, augmentant les risques de toxi-infections et qui pensent que les maladies d'origine alimentaire constituent la troisième cause de mortalité après le Sida et le paludisme.

Face à cette situation, il faut sensibiliser les vendeurs de nourriture de rue sur les questions d'hygiène. Ce résultat est similaire à ceux de T. J Compaoré et *al.*, (2008, p4) pour qui l'alimentation de rue est incontournable dans le schéma actuel de développement et les problèmes sanitaires qu'elle engendre doivent être résolus. La résolution de ces problèmes constitue un défi majeur pour tous les acteurs. Ainsi, des efforts des décideurs politiques, des autorités municipales, des vendeurs et des consommateurs doivent être conjugués afin de soutenir l'amélioration des services offerts par ce secteur de développement.

5 CONCLUSION

La restauration de rue est un secteur d'activité dynamique dans la ville de Djougou. Elle est animée à 90 % par des femmes et touche toutes les populations de cette ville de toutes les catégories socio-professionnelles. Cette activité fournit des aliments à des prix abordables. Elle est source de revenus pour les restaurateurs. Bien qu'elle soit source de revenus, cette activité est aussi source de maladies dues à la mauvaise cuisson des aliments, à l'insalubrité, à la vente d'aliments mal conservés ou impropres à la consommation. Il va falloir améliorer les conditions de travail des restaurateurs et la qualité hygiénique des aliments pour promouvoir la santé des consommateurs. Une éducation sanitaire des consommateurs et des vendeurs s'avère indispensable.

REFERENCES

- [1] ABOU Madjidi, 2017, Conséquences socio-économiques des restaurants populaires dans le deuxième arrondissement de la ville de Parakou. Mémoire de licence de géographie, UP, FLASH, DGAT, 63 p.
- [2] AHLOU Marcelle Gisèle Monwou et MONGBO Roch Lambert, 2020, Risques sanitaires liés au recours à la restauration hors domicile: Perceptions et pratiques des acteurs sociaux à Cotonou. In *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, consulté en ligne le 25/02/2021 à 16h10, URL: <http://www.retssa-ci.com/index.php?page=détail&k=104>.
- [3] AHLOU Marcelle Gisèle Monwou et MONGBO Roch Lambert, 2019, Discours nutritionnel, représentations et pratiques alimentaires des ménages de la commune de Cotonou. In *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, pp 352-362.
- [4] BERTON OFOUEME Yolande, 2007, La restauration « populaire » dans la conurbation Cotonou-Porto-Novo-Abomey-Calavi (Bénin). In *Revue du CAMES, Nouvelle Série B*, vol. 009, n°2, pp. 323-337.
- [5] COMPAORE T. Juliette, BARRO Nicolas, BELEMSIGRI Zéphérin, KOMKOBO Charlotte, BELEM Mamadou et YAMEOGO Caroline, 2008, Leçons de management stratégique: amélioration du secteur de l'alimentation de rue à Ouagadougou, Burkina-Faso. Capitalisation du Programme d'Appui au secteur de l'Alimentation de rue, ONG ASMADE, 75 p.
- [6] KOUESSI Fabrice et METONOU Auriol, 2016, Activité économique informelle dans le 7^e arrondissement de Cotonou: cas de la restauration populaire. Mémoire de Licence Professionnelle, DGAT/FLASH/UAC, 51 p.
- [7] LEGBA Christian Senounantin, YABI Ibouaïma, AZONHE Thierry et OSSENI Abdel-Aziz, 2017, Analyse des déterminants du choléra dans la ville de Djougou au Bénin. In *European Scientific Journal*, vol. 13, n°18, pp. 171-184.
- [8] LOKANGILA MOLISHO Délou, 2013, Contribution à l'étude de la qualité hygiénique des aliments vendus sur la voie publique (AVP) à Kisangani: cas de marché de l'IAT. Fréquence d'altération et estimation du risque lié au niveau d'instruction du vendeur (cas de contamination des AVP par FMAT, Salmonella et Shigella). Mémoire de licence en Sciences, Département des Sciences Biotechnologiques, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 46 p.
- [9] VONAN Pierre Claver Amangoun et AGOBE Jacob Ablakpa, 2015, Conscience sanitaire et consommation de la nourriture de rue au marché de Gesco. In *Anyasa, Revue des Lettres et Sciences Humaines, Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et des Sociétés*, Université de Lomé, n°4, pp 193-203.

Le S.I.G.: Outil efficace pour la gestion du foncier au service du cadastre

[The G.I.S.: Effective tool for land management in the service of the cadastre]

Elam Kyungu Lukomba¹, Grâce Mwangal Kapend¹, Bertin Uamba Nkulu¹, Elie Louis Kabwe Kionde Kabuta¹, Dennis Tshikudi Tshikudi², and Luc Lumanji Mbunga²

¹Département Informatique, Institut Supérieur de Statistique de Lubumbashi, Lubumbashi, RD Congo

²Département Informatique, Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kolwezi, Kolwezi, 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 Geographic Information System ranks among the flagship tools in the approach of new information and communication technologies, and this in land management which, currently, is at the center of several studies especially with the document digitization project. Cadastral in the Democratic Republic of Congo. In the context of the province of Haut-Katanga, through its land division of Haut-Katanga which presents a rapid demographic growth, and which knows a lot of requests for land which sometimes cause land conflicts following spoliations, encroachments and attributions multiples of the plots to several applicants following the mismanagement of the subdivisions which does not guarantee the security of the title deeds. To respond to land management concerns, we are proposing through this study the Geographic Information System and its means of implementation to assess the degree of resolution of land disputes.

KEYWORDS: GIS, parcel, building plot, land district, land-registry.

RESUME: Le Système d'information géographique se range parmi les outils phares dans l'approche des nouvelles technologies de l'information et de la communication, et cela dans la gestion du foncier qui, actuellement est au centre de plusieurs études surtout avec le projet de numérisation des documents cadastraux en République Démocratique du Congo. Dans le contexte de la province du Haut - Katanga, à travers sa circonscription foncière du Haut-Katanga qui présente une croissance démographique rapide, et qui connaît beaucoup de sollicitations des terres qui causent parfois des conflits fonciers suite aux spoliations, aux empiètements et aux attributions multiples des parcelles à plusieurs requérants suite à la mauvaise gestion des lotissements qui ne garantit pas la sécurité des titres de propriété. Pour répondre aux préoccupations de gestion du foncier nous proposons à travers cette étude le Système d'information géographique et ses moyens de mise en œuvre pour évaluer le degré de résolution des conflits fonciers.

MOTS-CLEFS: SIG, parcelle, lotissement, circonscription foncière, cadastre.

1 INTRODUCTION

La République démocratique du Congo, comme les autres pays du monde, est confrontée à plusieurs défis l'obligeant à réexaminer la pertinence de ses politiques foncières. Les défis sont la maîtrise de la croissance des villes, la promotion de la sécurité et la préservation des écosystèmes. A cela s'ajoute, la maîtrise de la tendance généralisée à la privatisation, au profit des minorités nationales ou internationales, des ressources naturelles telles que l'eau et le sol [1].

Le foncier étant à la base du développement économique (agriculteurs et éleveurs, agro-industries et urbanistes ont besoin des surfaces à exploiter) ainsi, diminuer les inégalités d'accès à la terre serait positif économiquement. Ces politiques foncières favorisent donc une meilleure répartition de la terre assurant à la fois l'efficacité économique et l'équité.

Le recours aux sciences de l'information géographique permet de modéliser et d'analyser l'espace géographique à l'aide des représentations numériques. La création des cartes et l'analyse géographique à l'aide des SIG procurent une plus grande vitesse et proposent des outils sans cesse innovant dans l'analyse, la compréhension et la résolution des problèmes.

La présente étude a pour objet de mettre en lumière le SIG, un outil fiable pour la gestion du foncier, capable de résoudre les problèmes de spoliation des parcelles et d'empiètement conduisant aux conflits fonciers

C'est pourquoi, notre problématique tourne autour des questions suivantes: « **Comment réorganiser la gestion du foncier ? Quels moyens mettre à la disposition du Cadastre afin de résoudre les problèmes de gestion évoqués ci-haut ?** »

Au vu des préoccupations soulevées, nous pensons que le recours au SIG est un moyen efficace pour résoudre les problèmes liés à la gestion du foncier.

Dans les lignes qui suivent, nous allons nous pencher sur la présentation de la division du Cadastre, du SIG et des moyens de mise en œuvre d'un tel système ainsi que l'apport de ce dernier dans la gestion du foncier.

2 METHODOLOGIE

L'adoption d'une démarche méthodologique est fondamentale. Les méthodes inductive et analytique sont au centre de notre réflexion. Cela permet l'orientation méthodique de la recherche à travers la collecte des données, de l'analyse et de la présentation des résultats.

3 PRESENTATION DU SERVICE DU CADASTRE

L'origine des affaires foncières fait référence au décret du roi souverain Léopold II du 22 août 1886 instituant la constatation et l'enregistrement des terres sur le territoire de la colonie. L'Etat avait instauré l'obligation à tout habitant du Congo qui pouvait faire constater et enregistrer ses terres auprès du service de Conservation des Titres Fonciers actuellement des Titres Immobiliers [2].

Au demeurant, tout devait être précédé par une enquête de vacance des terres et l'Etat agissant par la personne de ses fonctionnaires territoriaux, cédait les terres pour une telle somme d'argent qu'il consentait à cette occasion.

Ainsi, cette enquête de vacance permettait la distinction entre les terres indigènes (autochtones) et les terres grevées de droit sui-generis sur lesquelles s'exerçaient les droits de chasse, de pêche, de la coupe de bois et de la cueillette. Ces terres se distinguaient d'une autre catégorie appelée terres vacantes sur lesquelles il s'était avéré que personne n'y exerçait aucun droit, revenaient d'office à l'Etat [3].

Il sied d'indiquer qu'à cette époque, pour la gestion des terres, l'accent était plus mis sur le Cadastre car dès le début de la colonisation, la métropole ne recrutait pour les services des Affaires Foncières que les géomètres et topographes du Cadastre dans le but d'accélérer les délimitations des terres du nouvel Etat.

Au niveau de la province, le Ministère des Affaires Foncières est représenté d'une part, par la division de Conservation des Titres immobiliers chapeautée par un Conservateur des Titres Immobiliers (CTI) et d'autre part, par la division du Cadastre chapeautée par un Chef de Division du Cadastre (CDC).

Dans le cadre de notre étude, nous nous focaliserons sur la division du Cadastre circonscription foncière du Haut-Katanga, située à Kipushi, District du Haut-Katanga, Territoire de Kipushi, quartier Kamarenge, avenue 30 juin n° 413.

Hormis les territoires de Sakania, Kasenga et Pweto qui reviennent à la nouvelle division de Kasumbalesa, celle du Haut-Katanga regorge également trois territoires à savoir: Kipushi, Kambove et Mitwaba; elle est la ceinture verte de la ville de Lubumbashi et de Likasi.

4 LE SIG (SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE)

Les données sont les simples faits, elles ne sont pas utilisables si elles sont exploitées séparément les unes des autres. Mais lorsque ces données sont traitées, organisées, structurées ou présentées dans un contexte donné, elles deviennent utiles: elles sont appelées « information ». L'information spatiale ajoute une référence ou un composant spatial à cette notion. Au cours de deux dernières décennies, l'information spatiale est devenue de plus en plus importante. Les gens se sont rendu compte qu'il est souvent plus approprié de présenter l'information dans l'espace que sous des formes abstraites. Cette tendance a favorisé le développement des systèmes qui permettent aux utilisateurs de saisir, vérifier, intégrer, manipuler, analyser et afficher l'information spatiale. Les systèmes dotés de telles capacités sont désignés sous le terme de « Systèmes d'Information Géographique » (SIG) [4], [5].

Un SIG est un ensemble des matériels, des logiciels et des procédures conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, l'affichage des données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion [4].

Le système d'information géographique est un outil utilisé dans l'aménagement du territoire pour résoudre les problèmes liés à la gestion de la terre.

4.1 EVALUATION DE LA MISE EN PLACE DU SIG

Pour arriver à implémenter la nouvelle solution, nous avons procédé au choix de différents outils pouvant aboutir à sa matérialisation.

Pour ce qui est des logiciels SIG, il y a toute une gamme d'outils mais la question reste, certes, de savoir en quoi tel outil sera indispensable pour concrétiser la nouvelle solution à bon escient. C'est ainsi que, nous avons opté pour MapInfo comme gestionnaire efficace des lotissements.

MapInfo nous a permis de créer des tables, de charger la carte, d'effectuer des analyses sur la carte, bref, la gestion des lotissements est facilitée par MapInfo.

Il sied de signaler que nos ordinateurs personnels ne sont pas adaptés à gérer ce type de système, cela s'explique par le plantage répété de la machine lors des traitements, ce qui nous pousse à proposer un serveur plus puissant pour gérer un système complet.

4.2 OUTILS DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES

La collecte des données sur terrain permet d'acquérir les données nécessaires pour alimenter notre base des données du cadastre. Pour répondre aux attentes du plan directeur urbain, la collecte des données doit être de haute précision topographique. Le résultat de ce travail ne peut être escompté qu'avec l'usage des appareils topographiques de grande précision qui vont permettre de collecter les informations sur les limites des parcelles, concessions aussi bien que des données géographiques nécessaires pour alimenter la base des données.

4.2.1 GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

C'est un système permettant de déterminer la position des points à partir de l'observation des signaux radio émis par des satellites. Les appareils de réception GPS donnent les coordonnées géographiques et l'altitude d'un point, mais peuvent comporter aussi des fonctions de calcul d'itinéraire et de repérage cartographique. Ils sont utilisés dans les nombreux domaines d'activités ayant recours à la géolocalisation et à la navigation.

En voici un extrait:



Fig. 1. Collecte des données avec GPS

Source: notre étude

Le traitement et l'interprétation d'images sont à la fois l'art et la science permettant de mesurer notre planète grâce aux satellites, à la photographie aérienne et à l'utilisation des GPS. Ces différentes sources d'images et des mesures, permettent la collecte d'informations qui seront traitées, visualisées, analysées et interprétées. Ils ne peuvent être comparés aux SIG car ne traitant que les

images, ils ne permettent pas d'analyser et de gérer les nombreuses autres grandes familles des données. Les solutions de traitement d'images n'en demeurent pas moins des auxiliaires précieux aux SIG dans leur ensemble.

Le traitement d'images nous a permis de rendre ces données collectées en informations numériques qui peuvent être exploitées, consultées pour constituer une banque des données. Grâce à cette facilité, l'utilisateur bénéficie des avantages dans son travail et de la possibilité de réaliser chaque tâche avec succès et de manière efficace. Cette conversion des données géographiques de terrain en informations numériques se fait à l'aide des logiciels de traitement des données topographiques.

4.2.2 MAPSOURCE

Ce logiciel nous a permis d'introduire les données récoltées sur terrain et de les enregistrer sous différents formats: dxf, txt, dgb.

- *.dgb: nous aide à la géo-visualisation de l'image sphérique dans Google Earth. Cette image enregistrée sera calée dans le Système de référence WGS84.
- *.txt: ce format nous permet de bien trier et nettoyer nos données en Excel afin de créer les points en MapInfo.

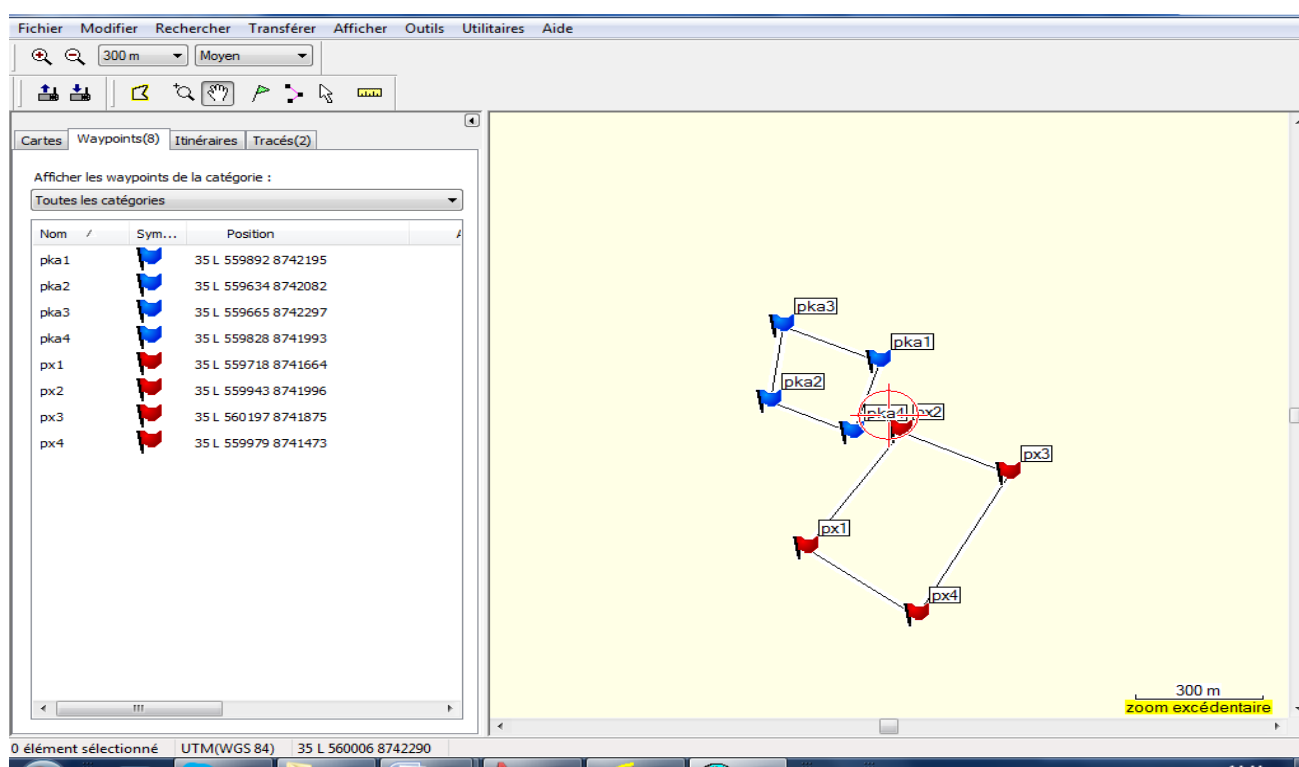


Fig. 2. Manipulation des données avec MapSource

Source: notre étude

4.2.3 AUTOCAD

Ce logiciel nous a permis en utilisant les fichiers de format Dxf et Dwg de faire le dessin, le modifier (tracer, couper, prolonger, décaler les lignes), prendre les angles, les distances... calculer les superficies.

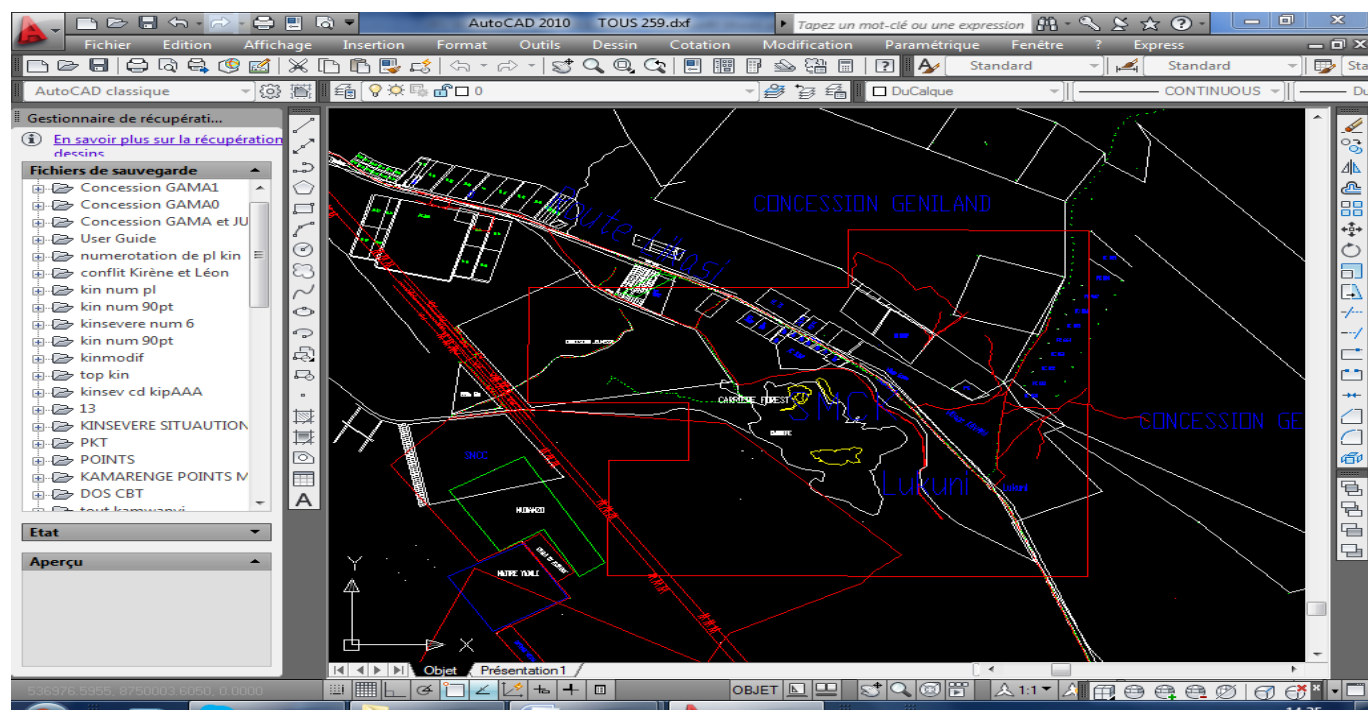


Fig. 3. Dessin des plans avec Autocad

Source: notre étude

4.2.4 MAPINFO

Ce logiciel nous a permis d'importer notre dessin de format Dxf de l'AutoCad vers le format MapInfo qui est Tab, de caler l'image prise en Google Earth de faire le référencement, de caler cette image afin de nous permettre de faire notre table images pour digitaliser les rivières, routes et tout ce qui est aux alentours de notre dessin. Ce logiciel nous a permis aussi de faire le traçage, d'imprimer les croquis sous une échelle bien définie.

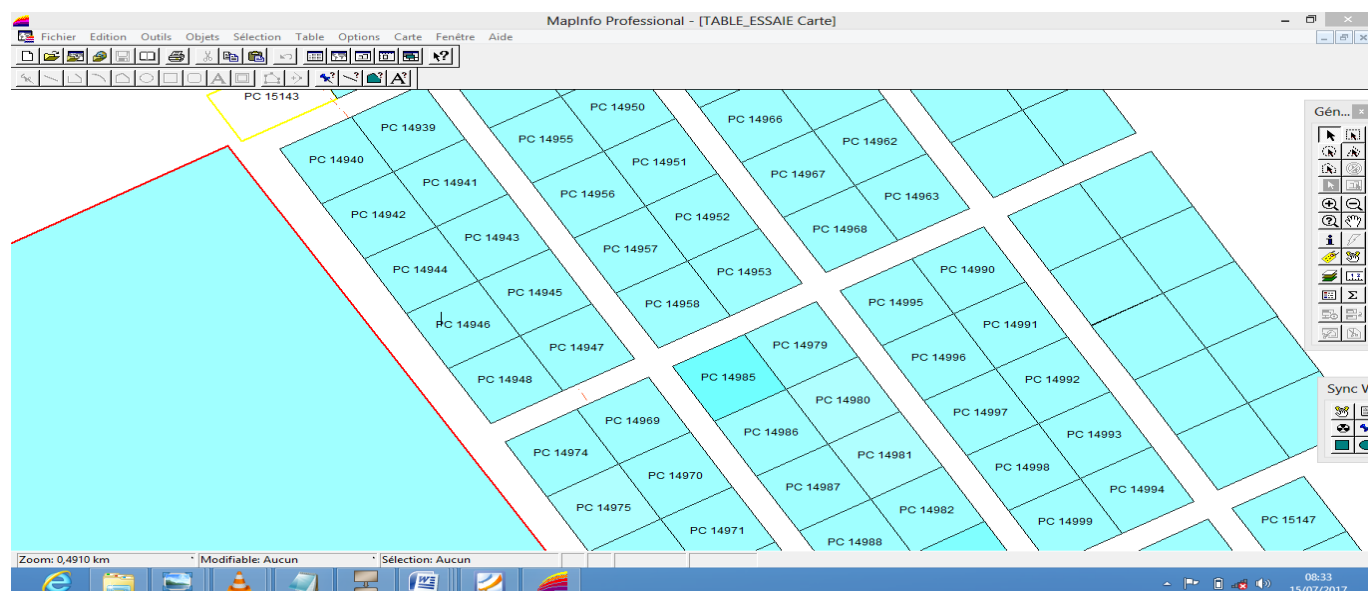


Fig. 4. Traitement des données avec MapInfo

Source: notre étude

5 AMELIORATIONS CARTOGRAPHIQUES

5.1 ANCIENNE PRESENTATION DES PLANS DE LOTISSEMENT



Fig. 5. Ancienne présentation des plans

Source: Division du Cadastre circonscription foncière du Haut-Katanga

5.2 NOUVELLE PRESENTATION DES PLANS DE LOTISSEMENT

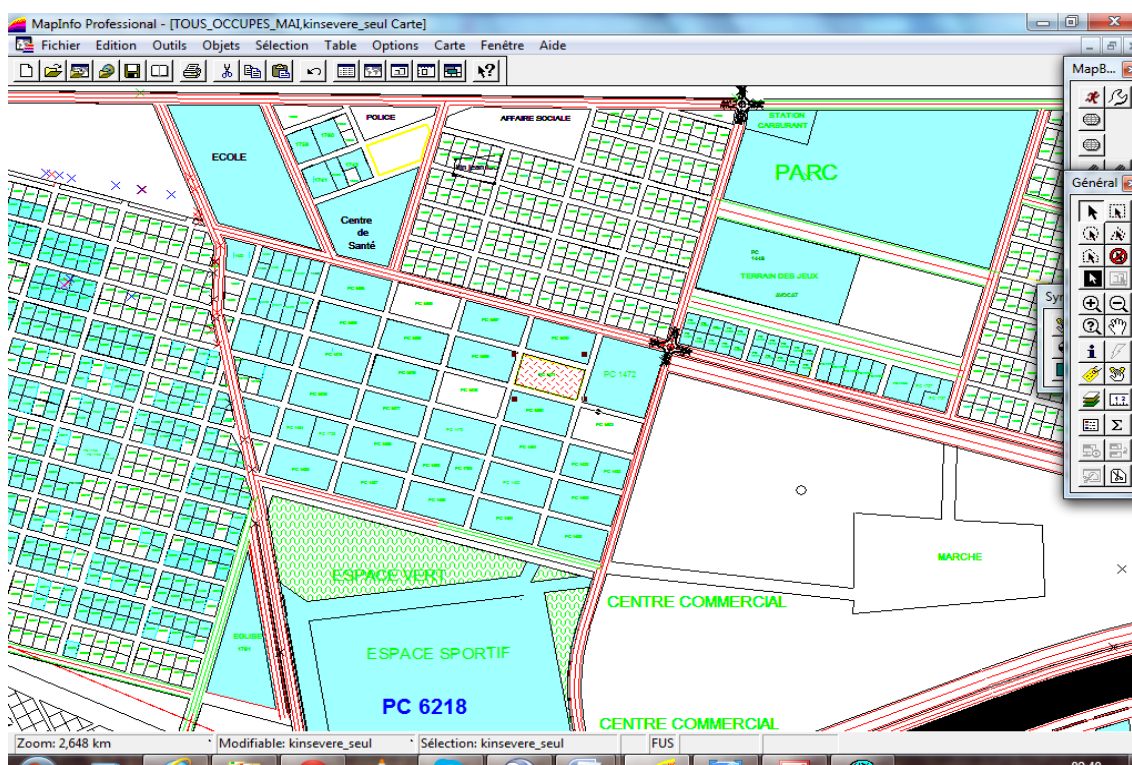


Fig. 6. Amélioration de la présentation des plans

Source: notre étude

6 CONCLUSION

Suite à la présence de beaucoup de conflits fonciers dûs aux empiètements, aux spoliations et aux attributions multiples des parcelles à plusieurs requérants suite à la mauvaise gestion des plans des lotissements qui résulte d'un travail manuel, et vu, les difficultés d'obtenir les informations relatives à l'occupation d'une parcelle, dûes aux planches muettes qui ne donnent pas la possibilité d'identifier toutes les informations sur l'occupant, nous affirmons que le SIG au service du Cadastre est un outil efficace et fiable qui facilitera la gestion des lotissements vu que, la nouvelle présentation des planches offre la possibilité de voir toutes les informations en rapport avec l'occupation d'une parcelle dont l'enregistrement des titres est automatisé.

Sachant que le sol et le sous-sol appartiennent à l'Etat, ceci permettra au service du cadastre de la circonscription foncière de Kipushi de bien gérer tous les dossiers fonciers à bon escient et permettra aussi à la population de bénéficier d'une garantie de sécurité de leurs titres afin de jouir du patrimoine du territoire national conformément à l'article 30 de la constitution de la République Démocratique du Congo, qui stipule que: « Toute personne qui se trouve sur le territoire national a le droit d'y fixer sa résidence et elle ne peut être forcée à habiter hors de sa résidence habituelle [6]. »

Cette étude menée dans le domaine des SIG démontre noir sur blanc que cet outil est indispensable pour la gestion des conflits fonciers car il nous présente des avantages énormes et de grands enjeux dans sa réalisation; D'où, la République Démocratique du Congo ne peut se passer de cet outil de gestion du foncier si elle veut se mettre à l'échelle de la modernisation comme c'est le cas pour la circonscription foncière de Kipushi qui prône sa matérialisation.

REFERENCES

- [1] Rapport du premier symposium, Thème: « La bonne gouvernance du foncier: enjeux et défis », Division du Cadastre circonscription foncière du Haut-Katanga, édition 2013.
- [2] Décret du roi souverain Léopold II du 22 août 1886 portant Régime général des biens, Régime foncier et immobilier et Régime des suretés.
- [3] Ordonnance-Loi n° 74-148 du 2 juillet 1974 portant mesures d'exécution de la loi n° 73-021 du 20 juillet 1973 portant Régime général des biens, Régime foncier et immobilier et Régime des suretés.
- [4] M. Goodchild and F. Michael, « A spatial analytical perspective on geographical information systems », Journal of geographical information science, Vol. 1, No. 4, PP. 327-334, 1987.
- [5] Laurini and D. Thompson, « Fundamentals of spatial information systems », Academic Press, 1992.
- [6] Constitution de la République Démocratique du Congo, modifiée par la Loi n° 11/002 du 20 janvier 2011 portant révision de certains articles de la Constitution de la République Démocratique du Congo du 18 février 2006.

Conception et simulation virtuelle d'un filtre numérique parallèle à réponse impulsionnelle infini pour convertisseur A/N à modulateur en rapport cyclique

[Design and virtual simulation of a parallel digital infinite impulse response filter for duty cycle modulation A/D converters]

Dang Zomo, Gamom Ngounou Ewo Roland Christian, and Mbihi Jean

Laboratoire de Génie Informatique et Automatique, Université de Douala, 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: This work focuses on the structure of the duty cycle modulator analog-to-digital converter. We propose to model again its complete chain, this time by parallelizing its demodulator filter. More specifically, we want to optimize the performance of this type of converter that no longer needs to make this proof in the field of real-time digital conversion. Thus, we will thanks to the so-called residue method, make parallel the classic demodulation filter and thereby obtain a new conversion chain. Following up with software tools such as MATLAB; System Generator and ISE Xilinx, we implement and simulate this new analog/digital converter chain with duty cycle modulator. After this implementation and simulation which uses as input signal, a sinusoid at a frequency of $f = 30\text{Hz}$, the results obtained show us that it is more judicious and advantageous to use this new conversion chain because with a quadratic error $E = 0.8208$, we do not lose the quality of the signal but we save in hardware resources; with a harmonic distortion rate $\text{THD} = 0.6099$, we have a type of converter that further reduces harmonics, and offers us a demodulation time saving of about 76,2%.

KEYWORDS: Numeric filter; oversampling; parallelization residues; demodulation; duty cycle.

RESUME: Ce travail est axé sur la structure du convertisseur analogique/numérique à modulateur en rapport cyclique. Nous nous proposons de modéliser à nouveau sa chaîne complète, en parallélisant cette fois-ci son filtre démodulateur. Plus précisément, nous voulons optimiser les performances de ce type de convertisseur qui n'a plus besoin de faire ces preuves dans le domaine de la conversion numérique temps réel. Ainsi, nous allons grâce à la méthode dite des résidus, rendre parallèle le filtre classique de démodulation et par là obtenir une nouvelle chaîne de conversion. En suite avec les outils logiciels tels que MATLAB; System Generator et ISE Xilinx, nous implémentons et simulons cette nouvelle chaîne de convertisseur analogique/numérique à modulateur en rapport cyclique. Après cette implémentation et simulation qui utilise comme signal d'entrée, une sinusoïde à une fréquence de $f = 30\text{Hz}$, les résultats obtenus nous montres qu'il est plus judicieux et avantageux d'utiliser cette nouvelle chaîne de conversion car avec une erreur quadratique $E = 0.8208$, nous ne perdons pas la qualité du signal mais nous économisons en ressources matérielles; avec un taux de distorsion harmonique $\text{THD} = 0.6099$, nous avons un type de convertisseur qui réduit d'avantage les harmoniques, et nous offre un gain de temps de démodulation d'environ 76,2%.

MOTS-CLEFS: Filtre numérique parallèle; Réponse impulsionnelle infini; Convertisseur Analogique/Numérique; Modulation en rapport cyclique; Méthode des résidus; ISE Xilinx suréchantillonnage.

1 INTRODUCTION

Le CAN (convertisseur A/N) est un composant indispensable dans une chaîne de traitement à l'aide de processeurs car il permet de numériser l'information qui est disponible dans l'environnement sous une forme analogique. Dans un monde qui se veut de plus en plus technologique, la manipulation numérique des données est de mise. Cela nous oblige de numériser le monde analogique qui nous entoure; mettant ainsi la conversion analogique/numérique au premier plan. Dès lors, les scientifiques se concentrent à concevoir des CAN (convertisseur A/N) de plus en plus performant. C'est dans cette optique que le Professeur MBIHI Jean et son équipe de recherche de l'université de Douala dans [1], conçoivent le modulateur en rapport cyclique, qui se positionne comme étant la meilleure alternative en ce qui concerne le domaine de la CAN par technique de suréchantillonnage. Celui-ci se positionne au premier plan de nos jours aux vu de ces performances temps réelles exposés dans la littérature.

Dans la suite de ce travail, nous rappelons le fonctionnement du convertisseur analogique/numérique à modulateur en rapport cyclique ensuite, nous implémentons la démodulation en utilisant un filtre démodulateur parallèle et en fin, nous comparons nos résultats à ceux de l'état de l'art.

2 MATERIEL ET METHODES

Nous présentons le fonctionnement du convertisseur à modulateur en rapport cyclique tel défini dans l'état de l'art. Puis, nous présentons aussi la méthode des résidus qui nous aide à paralléliser le filtre démodulateur du convertisseur à modulateur en rapport cyclique.

2.1 RAPPEL DU SCHEMA ARCHITECTURAL D'UN CAN-MRC

Le schéma architectural d'un CAN-MRC initié dans la référence [2] est présenté dans la figure 1. Cette architecture est celle la plus simple qu'on puisse envisager dans la classe des CANs à sur-échantillonnage.

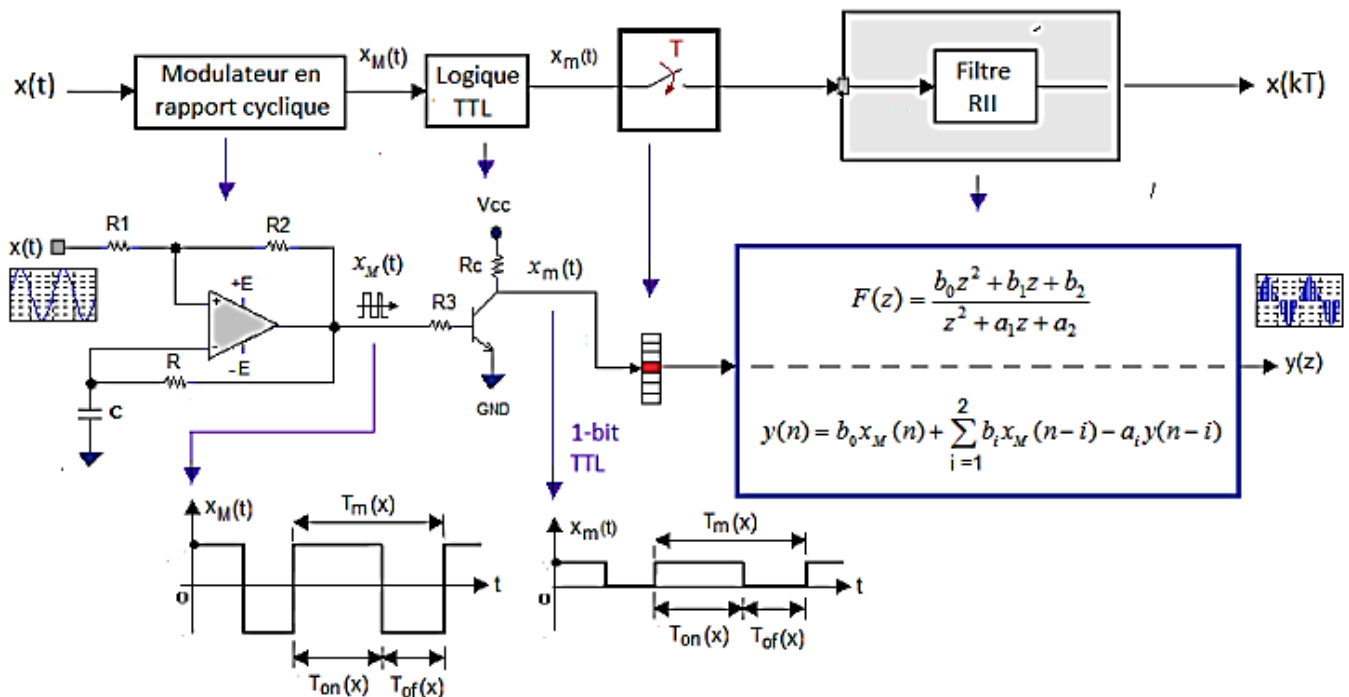


Fig. 1. Schéma représentant le circuit électronique du modulateur en rapport cyclique [2]

La figure 1 présente le circuit électronique du modulateur en rapport cyclique. Ses modules constitutifs (MRC, conformateur en logique TTL, filtre numérique RII) ont été modélisés analytiquement et bien testés expérimentalement avec succès dans plusieurs références [3], [4], [5].

2.2 PRINCIPE DE LA CAN-MRC

Le terme le plus évocateur dans les CANS-MRC, est la modulation en rapport cyclique. Dans [2], la modulation en rapport cyclique est définie comme un système de modulation basé sur un oscillateur de relaxation et qui emploie le sur-échantillonnage pour acquérir un signal avec une haute résolution, sous forme d'une série de plusieurs bits (bitstream). Elle consiste à moduler un signal analogique présent à son entrée grâce à deux caractéristiques importantes à savoir:

- Une période de modulation : $T_m(x)$;
- Un rapport cyclique :

$$R_m(x) = \frac{T_{on}(x)}{T_m(x)} \quad (1)$$

La fréquence de base d'oscillations est donnée par l'équation suivante:

$$f_{osc} = \frac{1}{2RC} \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) \quad (2)$$

La fréquence d'échantillonnage est choisie telle que:

$$f_e \geq 2f_B \quad (3)$$

Dans (3), f_B est la bande fréquentielle du signal modulé $X_m(t)$, avec $f_B \gg f_b$ (bande fréquentielle du signal modulant). Donc, f_e définie par (3) est une fréquence de sur-échantillonnage comparée à la fréquence de Nyquist $2f_b$. Dans ces conditions, le rapport de sur-échantillonnage est f_B/f_b . Un autre phénomène observé est que, l'erreur est réinjectée dans le filtre intégrateur que comporte le modulateur, ce qui permet en effet de repousser vers les hautes fréquences, les bruits (harmoniques) générés dans ce type de modulation.

Puisque le modulateur convertit le signal analogique présent à son entrée en une série de 1bit (bitstream), [4] nous montre qu'on lui associe un transistor TTL devant envoyé à la sortie des ordres de commande de 1bit; et enfin, un simple filtre numérique passe bas de second ordre permet de démoduler le signal modulé et de recouvrer le signal numérique du signal analogique de départ. On effectue ainsi une conversion analogique/numérique.

2.3 DEMODULATION DANS LES CANS-MRC

Les CANS-MRC aujourd'hui, touchent plusieurs domaines dans les sciences de l'ingénieur. Notamment dans l'acquisition des signaux s'appliquant à la médecine moderne comme dans [6], [7]; dans le domaine de l'instrumentation embarquée [8], [9], [10]; dans l'électronique de puissance et bien d'autres [11], [12]; et même dans la CNA (conversion numérique/analogique) [13], [14].

Dans la chaîne de conversion, [5] nous montre que, la démodulation se réalise à partir d'un filtre numérique à réponse impulsionnelle infinie programmé dans un processeur numérique; il permet de recouvrer le signal numérique qui a été modulé.

Ce filtre démodulateur, est un filtre numérique série passe bas récursif retrouvé par la discrétisation d'un filtre analogique de second ordre par la méthode de TUSTIN ou transformation bilinéaire. Ce filtre de démodulation est donné par l'expression (5) qui est tirée de [15]:

$$\begin{cases} y_j(0) = b_0 x_j(0) \\ y_j(1) = b_0 x_j(1) + b_1 x_j(0) - a_1 y_j(0) \\ y_j(k \geq 2) = b_0 x_j(k) + b_1 x_j(k-1) + b_2 x_j(k-2) - a_1 y_j(k-1) - a_2 y_j(k-2) \end{cases} \quad (5)$$

Ce filtre est tel que les paramètres analogiques sont les suivants:

$$K_j = 1,2764; \xi = 1,5726; w = 2096,3 \text{ rad/s}$$

La discrétisation par la méthode de TUSTIN sous MATLAB, pour une période d'échantillonnage,

$$T_e = \frac{1}{f_e} = \frac{1}{160000} = 6.2510^{-6} \text{ s} \quad (6)$$

nous donne l'expression suivante de la fonction de transfert de notre filtre numérique:

$$H(Z) = \frac{0,00005367 + 0,0001073Z^{-1} + 0,00005367Z^{-2}}{1 - 1,959Z^{-1} + 0,9596Z^{-2}} \quad (7)$$

$$y(n) = 0,00005367x(n) + 0,0001073x(n-1) + 0,00005367x(n-2) + 1,959y(n-1) - 0,959y(n-2) \quad (8)$$

2.4 SIMULATION SOUS MATLAB DU CAN A MRC

Tableau 1. Tableau des paramètres optimaux du MRC pour la simulation [15]

N°	Sous système	Données	Paramètres
01	Signaux	Sinusoïdale	8V. 80Hz
		Carré	7V. 30Hz
		Dent de scie	7V. 50Hz
		Carrée	6V. 90Hz
02	Modulation	α_{1f}	0,1
		α_{2f}	0,2
		1/RC	4000
		E	9
03	Filtre numérique	b_0	0,00005367
		b_1	0,0001073
		b_2	0,00005367
		a_1	1,959
		a_2	-0,9596

Le tableau 1 nous donne les valeurs numériques de l'équation (8) pour simuler et observer le comportement de ce filtre démodulateur.

Dans la littérature, [16] nous montre que la simplicité du CAN à MRC et le besoin d'améliorer les performances de la modulation en rapport cyclique, ont conduit les chercheurs à envisager la conversion simultanée de plusieurs signaux. Ceci leur a permis de développer trois grands types d'architecture à savoir:

- Une première architecture basée sur un multiplexeur qui acquiert les différents signaux et les transfère à un CAN unique;
- Une seconde architecture basée sur la mise en parallèle de plusieurs CAN pour chaque signal à convertir;
- Et, une troisième architecture basée sur la mise en parallèle de plusieurs CAN et d'un multiplexeur récupérant les signaux à la sortie des différents CAN.

Toutes ces architectures présentent certes l'avantage de convertir directement le signal sur n-bit prêt à être traité par un processeur. Cependant, elles présentent des inconvénients de complexité d'implantation matérielle et de logique de contrôle des multiplexeurs.

Pour remédier à ce dernier inconvénient, les spécialistes de la conversion analogique/numérique à modulateur en rapport cyclique ont développé et proposé une autre architecture basée sur la mise en parallèle de plusieurs p-MRC pour l'acquisition et la modulation de chaque signal à convertir. Comme dans le cas d'un signal, la démodulation se fait aussi grâce à p-filtres numériques. [16] nous montre que les résultats sont encourageants car d'après les auteurs, il y a un gain en termes de temps de conversion de plus, il a été possible de traiter plusieurs signaux simultanément sans altérer la qualité du signal original.

Nous proposons dans ce travail, une autre méthode de mise en parallèle; il est question de rendre parallèles les opérations du filtre démodulateur de la chaîne de conversion.

2.5 METHODE DE PARALLELISATION D'UN FILTRE RII DE SECOND ORDRE

Selon [17], Pour obtenir une mise en œuvre parallèle d'un filtre RII récursif (voir figure 2), il faut décomposer sa fonction de transfert en sommes de fractions partielles. On utilisera une méthode analogue à celle proposée pour l'inversion de la transformée en z. De sorte que si $N \geq M$:

$$H(z) = C + \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{1 - p_k z^{-1}} \quad (9)$$

Avec :

$$C = \frac{b_N}{a_N} \quad (10)$$

Dans ce cas, les termes p_k sont les pôles de $H(z)$ et A_k les résidus correspondants. En général, les pôles p_k sont complexes et il est préférable de regrouper les pôles conjugués pour obtenir une mise en œuvre qui ne met en jeu que des coefficients réels. Alors, les fractions partielles deviennent:

$$H(z) = \frac{b_{k0} + b_{k1} z^{-1}}{1 + a_{k1} z^{-1} + a_{k2} z^{-2}} \quad (11)$$

$$H(z) = C + \sum_{k=1}^{\text{partie entière}(\frac{N+1}{2})} H_k(z) \quad (12)$$

Il est possible que certains coefficients soient nuls pour les pôles réels. La mise en œuvre se fait selon le schéma de la figure 2.

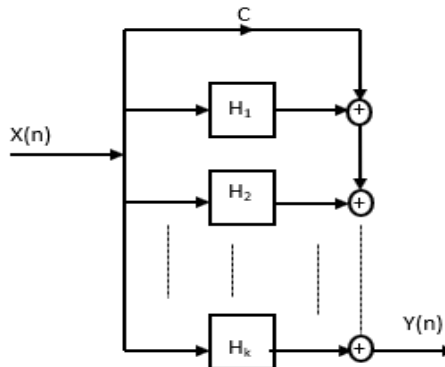


Fig. 2. Forme parallèle d'un filtre RII récursif [17]

La figure 2 montre la structure interne d'un filtre à réponse impulsionnel infini parallèle présenté par [17].

2.6 PARALLELISATION DU FILTRE DE DEMODULATION DU MODULATEUR EN RAPPORT CYCLIQUE

L'expression (7) représente la fonction de transfert de notre filtre démodulateur. C'est l'expression d'un traitement purement séquentiel et grâce à MATLAB nous allons utiliser la méthode des résidus pour obtenir son expression parallèle tel qu'illustré dans [17].

Ceci nous permet d'avoir la nouvelle expression en complexe de $H(z)$ qui est la suivante:

$$H(z) = \frac{1.0e-06 * (-0.3949 + 0.0002i)}{1 - (0.9996 + 0.0004i) z^{-1}} + \frac{1.0e-06 * (0.3949 - 0.0002i)}{1 - (0.9996 - 0.0004i) z^{-1}} \quad (13)$$

Cette procédure nous permet d'éviter plusieurs calculs intermédiaires ainsi nous optimisons le résultat et nous évitons des pertes d'information dues aux arrondies qui altèrent la sortie de notre filtre. Lorsque nous implémentons le nouveau filtre décrit par l'équation (13) dans MATLAB, en suivant les directives données dans [18], nous obtenons en sortie la démodulation du signal d'entrée.

2.6.1 DEVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES DE L'EXPRESSION NUMÉRIQUE DE LA FONCTION DE TRANSFERT DU FILTRE RII PARALLÈLE

Nous posons que l'équation (13) peut s'écrire sous la forme suivante:

$H(z) = H_1(z) + H_2(z)$ avec la forme du filtre numérique RII de second ordre comme dans [19];

Nous avons donc:

$$H_1(z) = \frac{1.0e-06*(-0.3949+0.0002i)}{1+(-0.9996+0.0004i)z^{-1}} \quad (14)$$

$$\text{et : } H_2(z) = \frac{1.0e-06*(0.3949-0.0002i)}{1+(-0.9996-0.0004i)z^{-1}} \quad (15)$$

Ainsi, nous pouvons retrouver la forme numérique de notre filtre RII parallèle en posant:

$$H_1(z) = \frac{Y_1(n)}{X_1(n)} = \frac{1.0e-06*(-0.3949+0.0002i)}{1+(-0.9996+0.0004i)z^{-1}} \rightarrow Y_1(n) = \frac{1.0e-06*(-0.3949+0.0002i)}{1+(-0.9996+0.0004i)z^{-1}} X_1(n) \quad (16)$$

On aura donc en définitive:

$$Y_1(n) = 1.0e-06 * (-0.3949 + 0.0002i)X_1(n) - (-0.9996 + 0.0004i)Y_1(n-1) \quad (17)$$

De même on aura:

$$Y_2(n) = 1.0e-06 * (0.3949 - 0.0002i)X_2(n) - (-0.9996 - 0.0004i)Y_2(n-1) \quad (18)$$

$$\text{Alors, on a: } Y(n) = Y_1(n) + Y_2(n) \quad (19)$$

représentant l'expression numérique du filtre RII parallèle d'ordre 2 du CAN-MRC.

2.6.2 MODELE SIMULINK SYSTEM GENERATOR DU CAN-MRC AVEC DEMODULATION PAR FILTRE RII PARALLÈLE

Nous avons réalisé la chaîne de conversion telle qu'illustrée sur la figure 3 avec un signal d'entrée de forme sinusoïdale. La figure 3 présente deux blocs distincts; le bloc modulateur à MRC sur la partie haute et le second bloc sur la partie basse est le filtre numérique RII parallèle de démodulation ayant à son entrée le signal MRC; et en sortie le signal numérique démodulé. Les composants « In » et « Out » permettent de faire l'interface entre les signaux issus des blocksets Simulink et les blocksets System Generator.

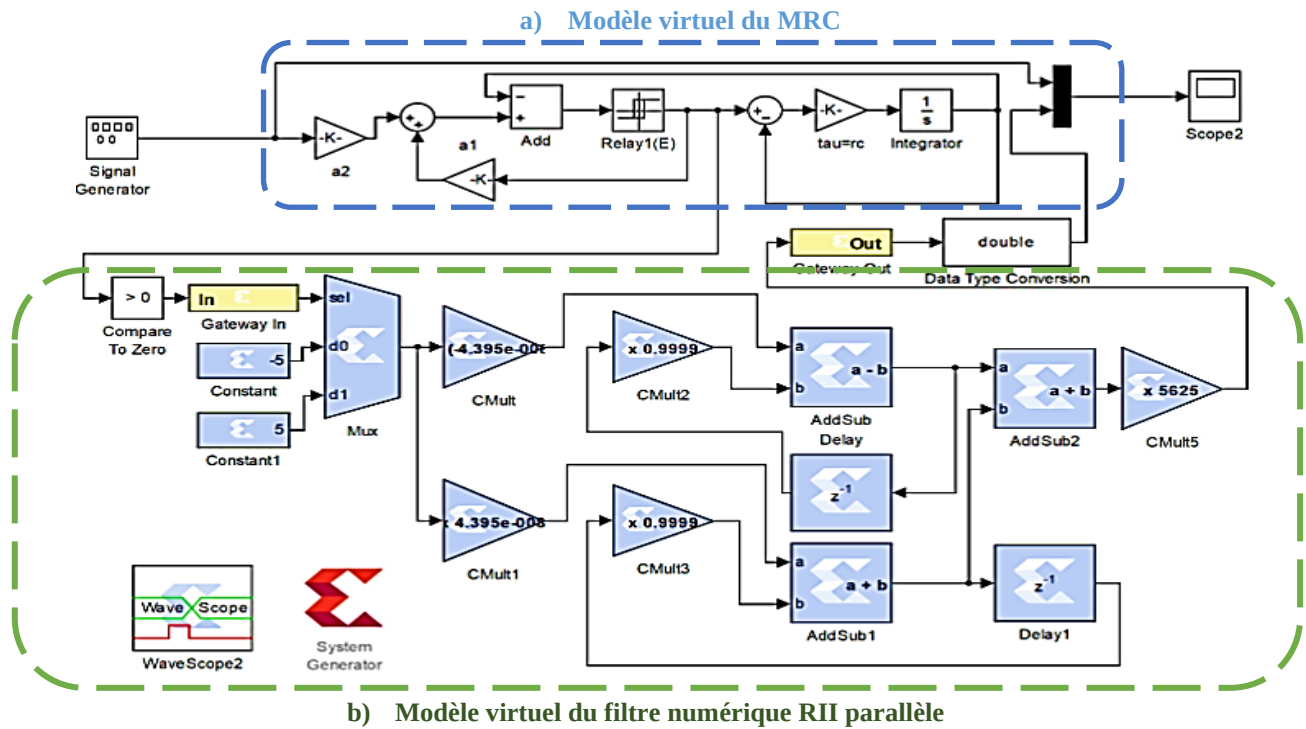


Fig. 3. Modélisation sous System Generator du modulateur MRC et du démodulateur à filtre RII parallèle

La figure 3 représente clairement le circuit sous System Generator de la nouvelle architecture du CAN-MRC avec filtre démodulateur RII parallèle.

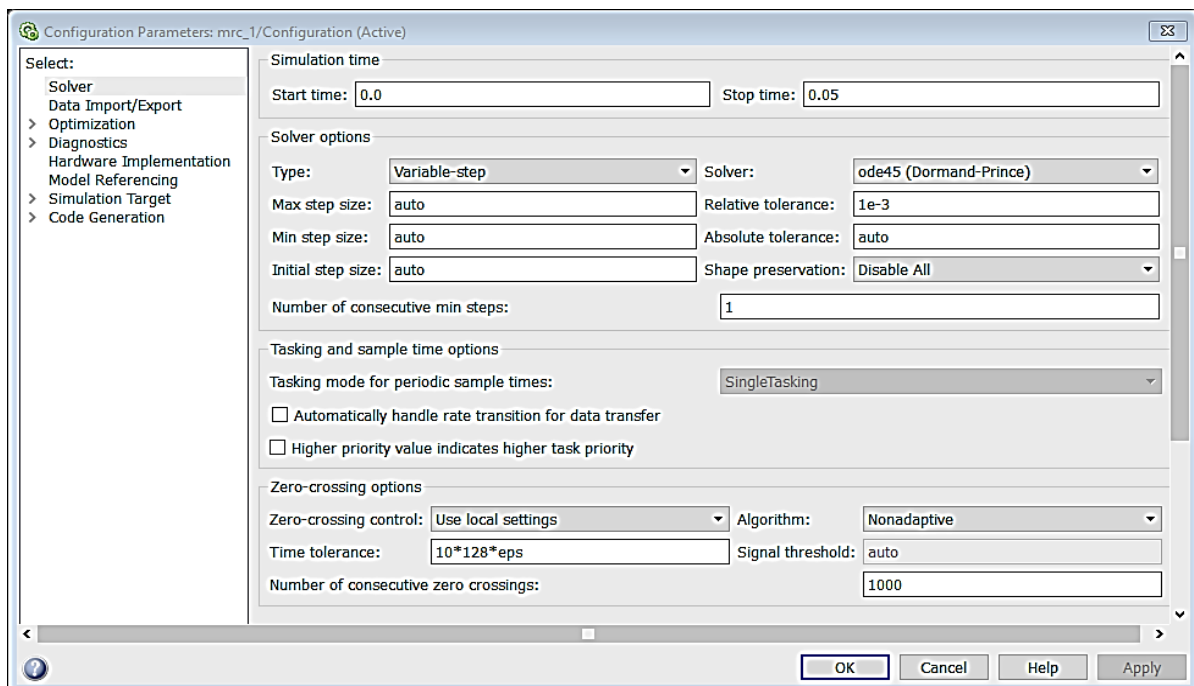


Fig. 4. Paramètres du solveur MATLAB utilisé sous Simulink

La figure 4 par contre, représente les paramètres du solveur MATLAB utilisé pour la simulation dans Simulink.

3 RESULTATS

Bien que d'autres méthodes de parallélisation soient présentées dans [20], [21], [22], [23] et [24]. L'application de la méthode analytique des résidus pour paralléliser le filtre RII utilisé nous a permis d'obtenir une nouvelle chaîne de démodulation numérique. Dans cette section, nous présentons le résultat de simulation numérique, de la nouvelle chaîne de conversion comprenant le modulateur MRC plus démodulateur RII parallèle, puis nous donnons les résultats de comparaisons entre la chaîne de conversion réalisée dans la littérature et la nouvelle chaîne proposée dans cet article.

3.1 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE SIMULATION

Nous avons modélisé la nouvelle chaîne de conversion à l'aide de Simulink en utilisant les composants encore appelés blocksets dans le jargon Matlab-Simulink, de la bibliothèque Xilinx System Generator. Puis nous avons générés les sources VHDL qui peuvent être synthétisés par l'outil de synthèse Xilinx ISE 14.7. Nous avons simulé le modèle Simulink correspondant du filtre parallèle numérique, puis comparé les résultats à ceux obtenus avec la méthode que l'on trouve dans la littérature.

3.2 RESULTATS

3.2.1 RESULTATS DE SIMULATION DU CAN-MRC A FILTRE RII PARALLELE SOUS SYSTEM GENERATOR

Nous rappelons que, le solveur Simulink utilisé pour cette simulation est ODE45.

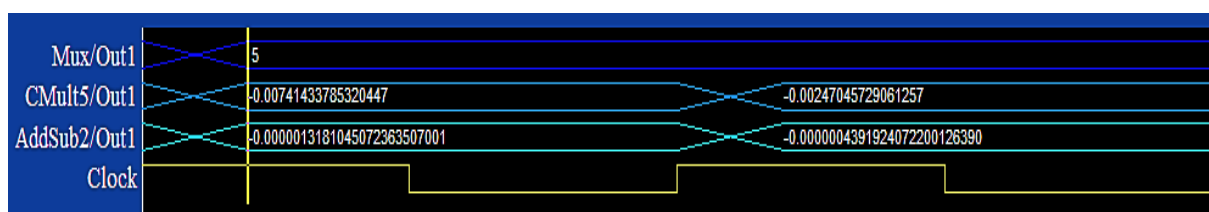


Fig. 5. Capture d'écran Wave scope de la simulation du démodulateur à filtre RII parallèle

La figure 5 nous présente la capture d'écran du WaveScope. Cette figure 5 nous confirme le fait que la démodulation a bien lieu avec le filtre RII parallèle.

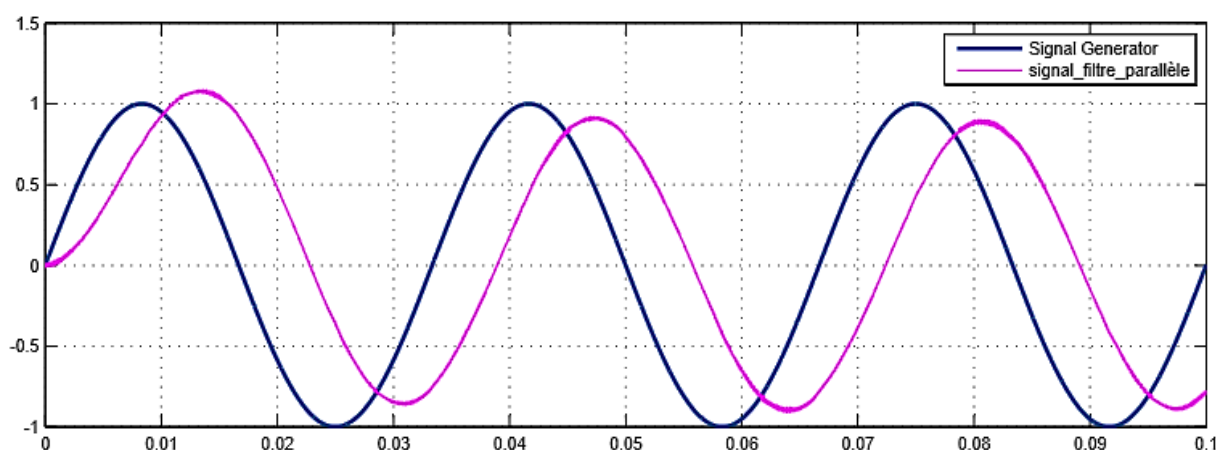


Fig. 6. Tracé superposé du signal d'entrée modulé et celui de la sortie démodulée avec filtre parallèle sous System Generator

La figure 6 nous présente le tracé superposé du signal d'entrée, et le tracé du signal de sortie démodulé avec le filtre parallèle. Nous mesurons une latence de 0.00625 s soit 6.25 ms pour un signal de fréquence 30 Hz. Les signaux sont bien reconnaissables.

Nous avons également simulé la chaîne de conversion classique ayant le filtre RII série afin de comparer nos résultats.

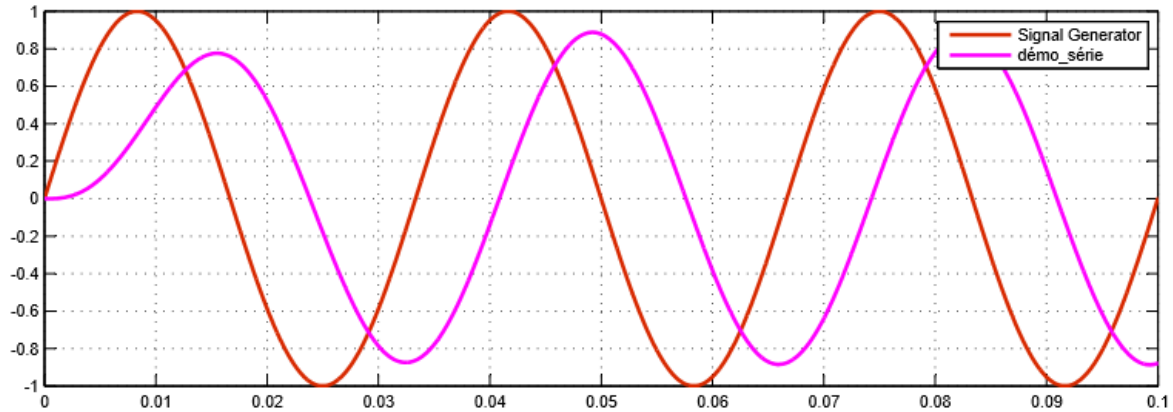


Fig. 7. Superposition du signal d'entrée et celui de la sortie sous Simulink

La figure 8 montre sur le même tracé, le signal d'entrée et le signal démodulé avec le filtre série en sortie. La latence dans ce cas est de 0.0079 s soit 7.9 ms pour un signal de fréquence 30 Hz.

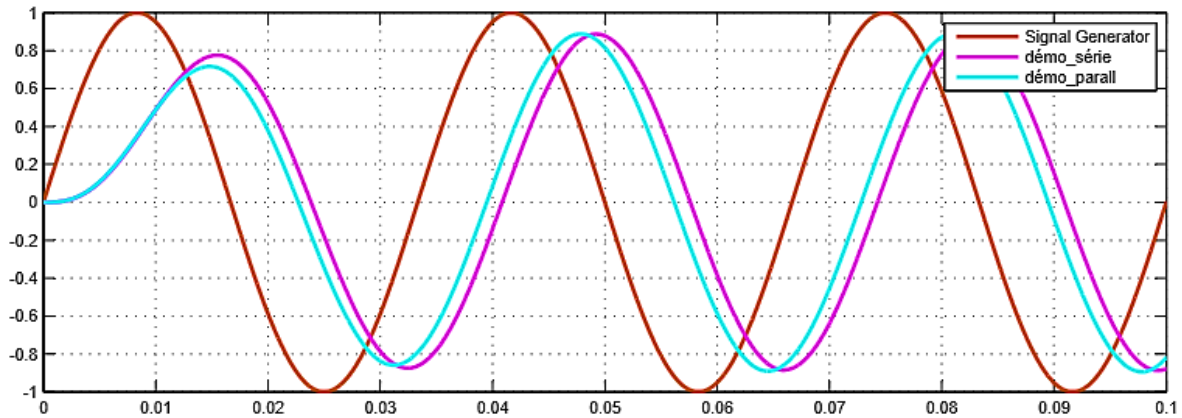


Fig. 8. Tracé comparatif de la CAN à MRC avec filtre séquentiel et filtre parallèle sous Simulink

La figure 8 présente les différents tracés que l'on obtient après simulation de nos deux chaînes de conversion dans Simulink. Ainsi, en vert nous avons le signal démodulé avec le filtre numérique parallèle; en violet, est représenté le signal démodulé avec le filtre numérique série; et en rouge c'est le signal modulant appliqué à l'entrée du modulateur.

3.2.2 RESULTATS DES GRANDEURS DE PERFORMANCES

L'implémentation des deux chaînes de conversion nous a permis de calculer leur:

- Différent taux de distorsion harmonique et nous avons obtenu:
 - ✓ Pour la chaine parallèle, $THD_{parallèle} = 0.6099$;
 - ✓ Et pour la chaine série on a, $THD_{série} = 0.621$;
- Différentes erreurs quadratiques, le calcul nous a donné:
 - ✓ Pour la chaine parallèle, $RMS_{parallèle} = 0.8202$;
 - ✓ Pour la chaine série, $RMS_{série} = 0.8789$;
- Différent rapport signal/bruit et nous avons obtenu:
 - ✓ Pour la chaine parallèle, $SNR_{parallèle} = 1.715$ dB;
 - ✓ Pour la chaine série, $SNR_{série} = 1.121$ dB.

3.2.3 RESULTATS DE L'UTILISATION DES RESSOURCES DANS XILINX ISE

Tableau 2. *Rapport d'utilisation des ressources sur FPGA XC7A100T du CAN à MRC à filtre parallèle*

N°	Slice Logic Utilization	Used	Utilization
01	Number used as Flip Flops	0	
02	Number of Slice LUTs	2,011	3%
03	Number of LUT Flip Flop pairs used	2,011	
04	Number with an unused Flip Flop	2,008	99%
05	Number with an unused LUT	0	0%
06	Number of fully used LUT-FF pairs	3	1%
07	Number of DSP48E1s	49	20%

Tableau 3. *Rapport d'utilisation des ressources sur FPGA XC7A100T du CAN à MRC à filtre série*

N°	Slice Logic Utilization	Used	Utilization
01	Number used as Flip Flops	200	
02	Number of Slice LUTs	2,455	3%
03	Number of LUT Flip Flop pairs used	2,487	
04	Number with an unused Flip Flop	2,287	91%
05	Number with an unused LUT	32	1%
06	Number of fully used LUT-FF pairs	168	6%
07	Number of DSP48E1s	58	24%

Les périodes minimales de fonctionnement du module démodulateur lorsqu'il est synthétisé dans le FPGA ARTIX XC7A100Tcsg324-3 sont:

- Pour la chaîne parallèle, $T_{\text{parallèle}} = 17.795$ ns soit une fréquence max de 56,2 MHz;
- Pour la chaîne série, $T_{\text{série}} = 23.344$ ns soit une fréquence max de 42,8 MHz.

4 DISCUSSION

Bien que l'implémentation du filtre de démodulation parallèle de la conversion ne soit pas très facile par rapport à l'implémentation du filtre série, il en ressort que la démodulation en parallèle est plus avantageuse. Il faut juste trouver comment rendre plus aisé cette implémentation.

Le calcul des gains et des constantes doit faire l'objet d'une très grande concentration car une erreur de calcul lors de l'implémentation que ce soit en série ou parallèle du filtre de démodulation, fausse totalement la démodulation du signal. Le calcul des résidus et la conception numérique du filtre parallèle est une phase importante et fondamentale pour l'élaboration dudit filtre.

4.1 COMMENTAIRES

- Il est établi que la démodulation est possible avec le filtre parallèle;
- Selon les tableaux 2 et 3, la démodulation avec ce filtre parallèle est plus économique en termes de ressources, par rapport à celle effectuée avec le filtre série de l'état de l'art;
- Le fait que $RMS_{\text{parallèle}} < RMS_{\text{série}}$ nous montre qu'en parallèle, nous gagnons car on utilise moins de ressources sans toutefois perdre en qualité du signal;
- Comme $THD_{\text{parallèle}} < THD_{\text{série}}$ alors, la conversion avec un filtre parallèle élimine plus les distorsions harmoniques par rapport à la conversion série;
- Le résultat selon lequel, $SNR_{\text{parallèle}} > SNR_{\text{série}}$, nous informe et nous confirme que le signal est meilleur en le démodulant avec le filtre démodulateur parallèle, contrairement à celle effectuée par le filtre démodulateur série;

- Nous avons aussi $T_{\text{parallèle}} < T_{\text{série}}$; de ce fait la démodulation à l'aide du filtre RII parallèle nous fait gagner 31% en fréquence de traitement;
- Il en ressort de l'exploitation de nos deux tableaux, qu'il est plus avantageux d'implémenter le filtre parallèle sur FPGA du fait de la concurrence des opérations.

5 CONCLUSION

Ces travaux avaient deux objectifs précis à savoir: se rassurer premièrement de la possibilité que la démodulation par convertisseur analogique/numérique à modulateur en rapport cyclique avec le filtre démodulateur parallélisé soit possible; et enfin, faire une comparaison objective entre la chaîne de démodulation avec filtre série de la littérature et la chaîne de démodulation avec filtre parallélisé implémenté dans cet article. L'exploitation des résultats nous amène à conclure par l'affirmative que, l'implémentation parallèle de notre filtre de démodulation est possible; la démodulation parallèle est plus avantageuse par rapport à celle série du fait que nous avons potentiellement un gain de débit de traitement d'environ **31%**, une réduction de la latence de **1,67 ms** avec une amélioration du taux de distorsion harmonique de **1,82%**; l'élaboration du filtre démodulateur en parallèle exige deux étapes à savoir, l'implémentation en série du filtre puis sa transformation en un filtre parallèle; donc une étape supplémentaire. La suite de nos travaux devra inévitablement se concentrer sur la réalisation physique, la simplification et l'optimisation de la démodulation parallèle du convertisseur analogique/numérique à modulateur en rapport cyclique.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements profonds vont à l'endroit:

- Du responsable du laboratoire du génie informatique et automatique de l'université de Douala, pour la possibilité qui m'ai donné au sein de son laboratoire de mener à bien mes travaux de recherche;
- Du recteur de l'université de Douala Cameroun, pour le fait de me permettre la réalisation de ces travaux qui rentre dans le cadre d'une thèse de doctorat.

REFERENCES

- [1] Jean Mbihi, François Ndjali Beng, Martin Kom, Léandre Nneme Nneme, 'A Novel Analog-to-digital conversion Technique using nonlinear duty-cycle modulation' International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, 2008, p 818-825.
- [2] J. MBIHI, F. NDJALI BENG, M. KOM & L. NNEME NNEME, "A Novel Analog-to Digital Conversion Technique Using Nonlinear Duty-Cycle Modulation", International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, vol.1, No. 3, pp. 818 – 825, 2012.
- [3] J. MBIHI, F. NDJALI BENG & M. MBOUENDA, "Modelling and simulation of a class of duty-cycle modulators for industrial instrumentation", Iranian Journal of Electrical and Computer engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 121-128, 2005.
- [4] J. MBIHI & L. NNEME NNEME, "A Multi-Channel Analog-To-Digital Conversion Technique Using Parallel Duty-Cycle Modulation", International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, vol.1, No. 3, pp. 826 – 833, 2012.
- [5] J. MBIHI & A. MOTTO, "Informatique industrielle – Instrumentation virtuelle assistée par ordinateur: Principes et techniques", Editions Ellipses, 240 pages, Paris 2012.
- [6] Otam Steve Ulriche, Gamom Ngounou E. R. Christian, Jean Mbihi, Moffo L. Bertrand "Conception et Co-Simulation sur Cible FPGA d'un Système d'Acquisition du Signal ECG par Modulation en Rapport Cyclique et Filtrage Dérivateur." IJIAS - International Journal Innovation and Applied Studies", Vol 31, pp. 795-807, 04 Janvier 2021.
- [7] OTAM Steve Ulriche, Moffo Lonla Bertrand, Gamom Ngounou E. R. Christian and Jean Mbihi, "A novel FPGA-Based Multi-Channel Signal Acquisition System Using Parallel Duty-Cycle Modulation and Applications to Biologic Signals: Design and Simulation", JEECCS - Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science - Vol 7, Issue 24, pages 13-20, 2021.
- [8] Sonfack Gisèle Béatrice, Jean Mbihi, " FPGA-Based Analog-to-Digital Conversion via Optimal Duty-Cycle Modulation", Journal of Electrical and electronics Engineering, Jee.
- [9] G. Sonfack and J. Mbihi and B. Lonla Moffo, "Optimal Duty-Cycle Modulation Scheme for Analog-To-Digital Conversion Systems", International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering", © World Academy of Science, Engineering and Technology. March 2017, vol. 123 (3). 348 – 354, March 2017. WASET/ORG/.

- [10] SONFACK Gisèle Béatrice, "Contribution à l'étude et au prototypage sur cible FPGA d'un nouveau type de convertisseur analogique-numérique par modulation en rapport cyclique optimal " Dschang, Cameroun: Thèse pour obtention du Doctorat/Ph.D en Physique 2019.
- [11] Léandre NNEME NNEME, Bertrand Lonla MOFFO, Gisèle Béatrice SONFACK and Jean MBIHI, "A Review of Multipurpose Duty-cycle Modulation Technology in Electrical engineering and Industrial Electronics", Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science", Vol. 4, Issue 12, pp. 9-18, 2018 JEECCS.
- [12] Léandre Nneme nneme, Jean Mbihi, "Virtual Simulation and Comparison of Sine Pulse Width and Sine Duty-Cycle Modulation drivers for Single Phase Power Inverters", JEECS - Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science, Volume 6, Issue 21, Pages 31-38, 2020. JEECCS.
- [13] Bertrand LONLA MOFFO, Jean MBIHI, "A Novel Digital Duty-Cycle Modulation Scheme for FPGA-Based Digital-to-Analog Conversion", © IEEE Transactions on Circuits and Systems II, Vo. 62, N°6, pp. 543-547, June 2015, DOI: 10.1109/TCSII.2015.2407233 <https://ieeexplore.ieee.org/document/7047825/>.
- [14] Bertrand MOFFO LONLA, "Nouvelle technique de conversion N/A des signaux par modulation numérique en rapport cyclique et application en instrumentation virtuelle. Thèse pour obtention du Doctorat/Ph.D en informatique, 2016.
- [15] Leandre Nneme Nneme, Jean Mbihi "Modeling and simulation of a new duty-cycle modulation scheme for signal transmission systems", American Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2014, Vol. 2, No. 3, 82-87.
- [16] Bertrand L. MOFFO, Jean MBIHI, Leandre N. NNEME, "FPGA-Based Multichannel Digital DutyCycle Modulation and Application to Simultaneous Generation of Analog Signals", Journal of Electronic Design Technology, Volume 8, Issue 1, pp. 23-35, Août (August) 2017, India, www.stmjournals.com.
- [17] Frédéric TRUCHETET "Traitement linéaire du signal numérique", Edition Hermès, Paris, Janvier 1998 P. 62 paragraphe 4.7.3.
- [18] JOHN J. SHYNK, MEMBER, IEEE " Adaptive IIR Filtering Using Parallel-Form Realizations " IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. VOL 37. NO. 4. APRIL 1989.
- [19] PRINCIPLES OF SIGNALS AND SYSTEMS [Online] Available: <http://www.yutub.com/> " iir Filter: ParallelForm-I&II " (April 21, 2021).
- [20] Balázs Bank, Member, IEEE "Converting Infinite Impulse Response Filters to Parallel Form" PUBLISHED IN THE IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, VOL. 35, NO. 3, PP. 124–130, MAY 2018.
- [21] Juho Liski, Balázs Bank, Julius O. Smith, and Vesa Välimäki, "Converting Series Biquad Filters Into Delayed Parallel Form: Application to Graphic Equalizers" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 67, NO. 14, JULY 15, 2019.
- [22] Balázs Bank "DIRECT DESIGN OF PARALLEL SECOND-ORDER FILTERS FOR INSTRUMENT BODY MODELING" Presented at the International Computer Music Conference, Proceedings Vol. I. pp. 458-465, Copenhagen, Denmark, Aug. 2007.: <https://www.researchgate.net/publication/265821595>.
- [23] B. Bank, "Converting infinite impulse response filters to parallel form, " IEEE Signal Process. Mag., vol. 35, no. 3, pp. 124–130, May 2018.
- [24] N. J. Bershad and P. L. Feintuch, "The recursive adaptive LMS filter-A line enhancer application and analytical model for the mean weight behavior, " IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-28, pp. 652-660, Dec. 1980.

Etude de la phénologie des quelques essences agroforestières et sylvicoles de la région de Beni-Butembo (Nord-Kivu, République Démocratique du Congo)

[Study of the phenology of some agroforestry and forestry species in the Beni-Butembo region (North Kivu, Democratic Republic of Congo)]

Muhindo Saiba Difo

Institut d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières de Butembo, Nord Kivu, 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: A phenologic study of the agroforestry and sylvan was done in Beni-Butembo area with the objective to determine the cash wood agroforestry and sylvan in Beni-Butembo area.

To achieve this, we identified the agroforestry and forestry species found in peasant fields in order to establish the optimal periods for their flowering, fruiting and seed production.

After analysis, 19 species were identified, most of which are atmospheric nitrogen fixing legumes and the other agroforestry for the amount of their biomass which contributes to the improvement of soil structure.

Most agroforestry species flower and give fruit once or twice a year such as *Grevillea robusta*, *Markhamia lutea*, *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena leucocephala*, while *Eucalyptus sp* flowers all year round hence the permanent availability of its seed and *Cedrella* does not fruit in high altitudes. However, all of the inventoried species bear fruit during cropping periods, which implies that there is the possibility of producing the seed twice a year, and others throughout the year. Thus, the phenology depends on local climatic and ecological conditions and from one species to another.

KEYWORDS: Phenologic, specie, agroforestry, sylvan, Beni-Butembo area.

RESUME: Une étude sur la phénologie des essences agroforestières de la région de Beni-Butembo a été effectuée dans les périodes courant entre 2017-2020.

Pour y parvenir, nous avons procédé à une identification des espèces agroforestières et sylvicoles retrouvées dans les champs paysans afin d'établir les périodes optimales de leur floraison, fructification et de la production des semences.

Après analyse, 16 espèces ont été identifiées, où la plupart sont de légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique et les autres agroforestières pour la quantité de leur biomasse qui contribue à l'amélioration de la structure du sol.

La plupart des espèces agroforestières fleurissent et donnent des fruits une fois ou deux fois par an comme *Grevillea robusta*, *Markhamia lutea*, *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena leucocephala*, tandis que l'*Eucalyptus sp* fleurit toute l'année d'où la disponibilité permanente de sa semence et le *Cedrella* ne fructifie pas dans les hautes altitudes. Toutefois la totalité des espèces inventoriées fructifient pendant les périodes culturales, ce qui implique qu'il y a possibilité de produire la semence deux fois par an, pour d'autres toute l'année. Ainsi, la phénologie dépend des conditions climatiques et écologiques locales et d'une espèce à l'autre.

MOTS-CLÉS: Phénologie, Agroforesterie, Beni-Butembo, espèce, sylviculture.

1 INTRODUCTION

Dans la plupart des pays africains, bien des agriculteurs entretiennent des arbres à proximité des habitations et des champs depuis des siècles afin de combler à leurs besoins en combustibles ou de pallier l'absence des réserves alimentaires Maundu, P. & Tengnäs, B. (2005).

La connaissance de la phénologie des arbres tropicaux est essentielle pour plusieurs raisons. D'abord, la phénologie est la manifestation apparente des processus de croissance, de floraison et de fructification (Fournier & Sasson, 1983).

Compte tenu des conditions agro-climatiques et socio-économiques, qui prévalent plusieurs pays africains ont développés des systèmes de cultures associant des arbres particuliers. En Afrique de l'Est, on rencontre régulièrement des endroits où des arbres sont cultivés conjointement avec des cultures vivrières ou de rente (Egla & Kalinganire, 1998).

Pour 90% de la population africaine, le bois est la seule source d'énergie pour la cuisson des aliments et de chauffage. Par conséquent, la nécessité de planter des arbres et arbustes partout où il y a l'espace inexploité est évidente pour tous les agriculteurs-éleveurs (Anonyme, 1994).

Cependant, beaucoup d'arbres sont gérés également pour la production autre que le bois, tels que les fruits, les fleurs, les feuilles comestibles, la production du miel, brindilles pour perche et graines fourragères, les racines et écorce à potentiel pharmaceutique et biocarburant.

Beaucoup d'arbres et arbustes sont surtout des matières premières à la base d'une productivité de première importance (Baumer, 1997).

Par ailleurs, les forestiers manipulent les graines d'arbres depuis des siècles, on pourrait donc croire qu'ils maîtrisent parfaitement et depuis longtemps l'utilisation. Ceci est malheureusement assez loin de la réalité.

Malgré le progrès récent, il faut reconnaître que l'on gâche encore beaucoup de maux entre le stade de récolte et fourniture des semences viables (Lebrun, J. & Stork, A. (2010).

Beaucoup d'arbres et arbustes sont surtout des matières premières à la base d'une productivité de première importance (Baumer, 1997). Par ailleurs les forestiers manipulent les graines d'arbres depuis des siècles mais il s'observe la non maîtrise de la période de la floraison de ces espèces laisse que les sylviculteurs ne se fixent correctement pas dans la production de la semence pour le repeuplement du milieu aussi les traditheurapeuticiens de se fixer par rapport à la récolte de recettes surtout à ce qui concerne les fleurs pour la production des médicaments (Tasi et al, 2018).

La disponibilité des graines en temps voulu est un facteur important et à déterminer par la connaissance du cycle de fructification de tous les arbres dont on espère une production prometteuse pour le succès de chaque action de plantation d'arbres agroforestiers et sylvicoles. La région de Ben-Butembo est une région où la demande en semence se fait sentir car la consommation en bois est très élevée, mais les terres devenues rares ou inexistantes. Etant donné que dans la région il n'existe pas un centre de traitement et de vente de semences d'essences agroforestières, la présente étude se propose de révéler les périodes optimales de floraison, de fructification et de récolte locale des semences agroforestières retrouvées dans certains boisements et champs paysans de la contrée.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU

La région de Beni – Butembo se trouve en Province du Nord Kivu à l'extrême Ouest du Parc National des Virunga.

Le relief y est accidenté par endroit avec des pentes habituelles se situant entre 18% et 55%, mais qui peut atteindre 80% à certains coins.

L'altitude varie entre 912m dans les moyennes altitudes et jusqu'à 2400m dans les hautes altitudes (Anonyme, 1998).

Le climat est fonction de l'altitude, les moyennes d'altitudes se rapproche du climat du type Af selon Koppen, caractérisé par l'humidité mensuelle des pluies du mois le plus sec supérieur à 60mm et une température moyenne du mois le plus froid supérieur à 18°C.

Cependant, dans les hautes altitudes, le climat est du type Cf avec une température moyenne du mois le plus chaud supérieure à 18°C et une pluviosité du mois le plus sec supérieur au dixième du mois le plus pluvieux.

Pendant la période sèche, les vents violents, de direction Est-Ouest arrivent déjà refroidis par les masses d'air des monts Ruwenzori, rendant les températures très froides la nuit.

Le sol de la région dérive du substrat rocheux qui est principalement d'origine Kaolinique. Ce sol pour la plupart argileux avec un pH oscillant entre 4 et 5 (Anonyme, 1998).

2.2 MATERIEL ET METHODES

Ce travail a consisté à des observations personnelles suivies des interviews d'une longue période accompagnée d'enquête auprès des populations locales et agronomes sylviculteurs sur les différentes phases physiologiques observées sur les arbres rencontrés au champ.

Les techniques d'enquête reposaient sur un échantillon raisonné de taille réduite en tenant compte de la qualité de l'information disponible auprès de la population d'étude constituée des paysans, des sylviculteurs, des forestiers et agronomes du milieu.

Les sites suivants ont fait l'objet de notre étude: Beni avec 1110m d'altitude, Butembo avec 1900m d'altitude, Isale avec 1700m d'altitude, Kyondo avec 2200m d'altitude et enfin Mbau et environs avec 1100m d'altitude. Un herbier simple et une méthode dendrologique et d'identification d'espèces basées sur la morphologie des plantes ligneuses décrite dans le manuel dendrologique et la clé de détermination ont été utilisés à l'aide de travaux de Lebrun et Stork (2010) et par les systèmes basés sur l'approche phylogénétique tenant compte des données de la botanique systématique moléculaire (APG, IV).

Nous avons aussi procédé à un choix aléatoire de nos sites dans lesquels nous avons délimité des champs de deux hectares par site pour former notre champ expérimental. Dans ce champ, nous avons procédé à la coupe, par grimpage, de certaines branches porteuses des semences ainsi que la récolte des fleurs et feuilles pour l'herbier.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 LES ESSENCES AGROFORESTIÈRES IDENTIFIÉES DANS LES SITES PARCOURUS

Tableau 1. Les arbres utilisés dans les champs des sites enquêtés

Site d'étude	Essences identifiées	Famille
Site de Beni et environs	<i>Acacia auriculoformis</i>	<i>Fabaceae</i>
	<i>Anona reticulata</i>	<i>Anonaceae</i>
	<i>Calliandra calothyrsus</i>	<i>Fabaceae</i>
	<i>Cassia spectabilis</i>	<i>Fabaceae</i>
	<i>Cedrella serata</i>	<i>Maliaceae</i>
	<i>Cordia africana</i>	<i>Boraginaceae</i>
	<i>Citrus limon</i>	<i>Rutaceae</i>
	<i>Citrus sinensis</i>	<i>Rutaceae</i>
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Eucalyptus maculata</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Eucalyptus maideni</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Proteaceae</i>
	<i>Leucaena diversifolia</i>	<i>Fabaceae</i>
	<i>Markhamia lutea</i>	<i>Bignoniaceae</i>
	<i>Mangifera indica</i>	<i>Anacardiaceae</i>
	<i>Persea americana</i>	<i>Lauraceae</i>
	<i>Prunus africana</i>	<i>Rosaceae</i>
	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	<i>Moraceae</i>
	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinaceae</i>
Mbau et environs	<i>Cedrella serata</i>	<i>Meliaceae</i>
	<i>Cordia africana</i>	<i>Boraginaceae</i>
	<i>Citrus limon</i>	<i>Rutaceae</i>
	<i>Citrus sinensis</i>	<i>Rutaceae</i>
	<i>Eucalyptus maculata</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Eucalyptus maideni</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Leucaena diversifolia</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Persea americana</i>	<i>Lauraceae</i>
Kyondo et environs	<i>Cedrella serata</i>	<i>Meliaceae</i>
	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Proteaceae</i>
	<i>Eucalyptus maculata</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Eucalyptus maideni</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Proteaceae</i>
	<i>Leucaena diversifolia</i>	<i>Fabaceae</i>
Butembo et environs	<i>Cedrella serata</i>	<i>Meliaceae</i>
	<i>Citrus limon</i>	<i>Rutaceae</i>
	<i>Citrus sinensis</i>	<i>Rutaceae</i>
	<i>Eucalyptus maculata</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Eucalyptus maideni</i>	<i>Myrtaceae</i>
	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Proteaceae</i>
	<i>Leucaena diversifolia</i>	<i>Fabaceae</i>
	<i>Persea americana</i>	<i>Lauraceae</i>

Les sites de Beni et Mbau semblent regorger toutes les essences identifiées, cela est justifié par sa position géographique. Bien que les arbres se retrouvent dans les champs de cultures, tous ne sont pas agroforestiers. A titre d'exemple les Eucalyptus qui sont toujours associés aux cultures dans les sites car ils constituent une excellente source de bois d'énergie et de construction dans les agglomérations urbaines et rurales à cause de sa croissance jugée excellente selon les expériences paysannes et sylvicoles, mais épuisent les sols, chose très ignorée par les paysans. Leur importance est grande pour diverses raisons, la moindre n'étant pas la satisfaction des besoins en bois et en produits alimentaires; elles jouent aussi un rôle essentiel sur le plan mésologique, économique et socioculturel. Pour nombre de pays africains, l'utilisation rationnelle des ressources offertes par les forêts tropicales et la mise en valeur des zones rurales auxquelles elles correspondent sont au cours des programmes et des politiques de développement national dans plusieurs pays (Kouka, 2003)..

Le *Cordia africana* retrouvé dans les champs de Beni et Mbau dans le but de fournir du bois d'œuvre car ces deux sites font partie des zones forestières où l'exploitation forestière est d'application.

3.2 CARACTÉRISTIQUES DES ARBRES AGROFORESTIERS

La répartition des 19 essences agroforestières et sylvicoles récoltées dans les localités des Kayna-Luofu en taxons supérieurs (seulement la famille) sont consignées dans le tableau 2 ci-dessous. A la lumière du tableau 2, nous constatons que les espèces retrouvées sont classées dans 10 familles différentes et 19 espèces. La famille des *Fabaceae* est la mieux représentée avec 4 espèces (soit 21%) suivie des *Myrtaceae* avec 3 espèces (soit 15 %). Les autres familles sont moins représentées

Tableau 2. Systématique des arbres identifiés

Essences	Famille
Mangifera indica	Anacardiaceae
Anona reticulata L.	Anonaceae
Markhamia lutea (Benth.) K.Schum	Bignoniaceae
Cordia africana Lam.	Boraginaceae
Acacia auriculoformis CUNN	Fabaceae
Calliandra calothyrsus (Meisn) Barneby	Fabaceae
Senna spectabilis Lam.	Fabaceae
Leucaena diversifolia (Lam.) de Wit	Fabaceae
Persea americana Mill.	Lauraceae
Cedrella serata A. Royle	Meliaceae
Artocarpus heterophyllus Lam.	Moraceae
Eucalyptus maidenii F. Muell.	Myrtaceae
Eucalyptus grandis W. Hill.	Myrtaceae
Eucalyptus saligna Sm.	Myrtaceae
Pinus patula Schlttdl. & Cham	Pinaceae
Grevillea robusta A. Cunn. ex R. Br.	Proteaceae
Prunus africana (HOOK F) Kalkman	Rosaceae
Citrus limon (L.) Osbeck	Rutaceae
Citrus sinensis (L.) Osbeck	Rutaceae

Sans les qualifier à priori, les particularités des arbres agroforestiers se manifestent en cultures.

Par rapport aux cultures agricoles, la récolte et la préparation des fruits et graines d'arbres sont souvent compliquées et peuvent considérablement différer d'une espèce à une autre. Afin de les récolter au moment approprié, il faut connaître leur cycle de floraison et de fructification de tous les arbres de votre choix (Wayisalire, 2001).

Contrairement aux graines des plantes cultivées, les graines sylvicoles sont peu homogènes, elles changent avec l'âge et la qualité des graines d'arbres semenciers et variables d'une espèce à l'autre. Les graines d'une espèce agroforestière doivent être semées immédiatement après la récolte alors que celles d'autres peuvent se conserver sous certaines conditions sans perte du pouvoir germinatif (Egli & Kalinganire, 1998).

En outre, les essences agroforestières légumineuses sont surtout caractérisées par la présence des nodules sur les racines et par conséquent fertilisent le sol par la capture de l'azote atmosphérique. Leur développement n'est pas grand et permet un développement caractéristique harmonieux des cultures en leur procurant de l'ombrage (Anonyme, 1994).

3.3 PHÉNOLOGIE DES ESSENCES IDENTIFIÉES.

Tableau 3. Phases phénologiques

Essences	Floraison	Fructification	Récolte
<i>Acacia auriculoformis</i>	De janvier à Mars	Mai à Juillet	Juillet à Août
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Mai à Août	Juillet à septembre	Octobre-décembre
	Novembre à février	Décembre à mars	Février à mai
<i>Cassia spectabilis</i>	Novembre à février	Décembre à mars	Février à mai
	Aout à Novembre	Novembre à janvier	Juin à Août
<i>Calliandra calothyrsus</i>	Janvier à mars	Mai à juillet	Juillet à septembre
<i>Cedrella serata</i>	Juillet à Août	Aout à novembre	Octobre à janvier
<i>Cordia africana</i>	Avril à juin	Juin à juillet	Juillet à septembre
<i>Grevillea robusta</i>	Février à mai	Avril à juin	Juin à Août
	Août à novembre	Novembre à janvier	Janvier à mars
<i>Markhamia lutea</i>	Aout à octobre	Septembre à novembre	Octobre à décembre
	Décembre à février	Janvier à mars	Février à avril
<i>Leucaena diversifolia</i>	Mars à mai	Mai à juillet	Juillet à septembre
	Aout à novembre	Novembre à janvier	Décembre à février
<i>Eucalyptus spp</i>	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
<i>Anona reticulata</i>	Mai à Août	Juillet à septembre	Octobre décembre
	Novembre à février	Décembre à mars	Février à mai
<i>Mangifera indica</i>	Février en avril	Avril à juin	Juin en Août
	Août en octobre	Septembre à décembre	Janvier à mars
<i>Citrus limon</i>	Février à mai	Avril en octobre	Juin en octobre
<i>Citrus sinensis</i>	Février à mai	Avril en octobre	Juin en octobre
<i>Persea americana</i>	Août	Septembre à janvier	Octobre à avril
<i>Pinus patula</i>	Janvier	Mars	Mai- juin
<i>Prunus africana</i>	Janvier	Avril	Juin-Aout

Ce tableau montre que quelques espèces fructifient une fois l'an et d'autres deux fois l'an et au cours de la saison sèche. Cela rejoint les observations de Capon (1947) pour la RDC et celles de De la Mensburge (1966) pour la Côte d'Ivoire. Les connaissances acquises concernent le rythme de fructification: deux fois par an, 1 fois par an. La période de fructification maximale se situe au cours de la grande saison sèche, soit de décembre à mars, les essences à fructification nombreuse sont en principe favorisées. En Côte d'Ivoire, les floraisons seraient surtout durant la petite saison sèche (juillet-février), beaucoup plus que pendant la grande saison sèche (janvier-février), elles redeviennent abondantes au début de la saison pluvieuse (mars- avril).

Longman et Jenik (1974) ont clairement montré l'influence de la photopériode et de la thermopériode sur la floraison et le débourrage des bourgeons foliaires dans les régions tropicales à alternances saisonnières.

Les *Eucalyptus grandis*, *maculata*, *maideni* fleurissent et fructifient toute l'année ce qui disponible sa semence tout au long de l'année suivant le site et l'espèce, avec une floraison très marquée au mois de septembre.

Quant à Florence (1964) qui a comparé la floraison des *Eucalyptus*, espèce tropicale australienne et constaté qu'il y avait des larges variations de la période de floraison à l'intérieur de la zone apparemment homogène. Quand la floraison n'est pas très forte, on ne distinguait pas clairement le maximum de production des graines alors que ce dernier était net durant l'été suivant une floraison intense.

Florence émet l'hypothèse que ces variations relatives à l'époque et à l'intensité de la floraison traduiraient pour chaque espèce la grande diversité génétique de la sélection du milieu.

Les *Eucalyptus* fleurissent tous les ans avec une faible intensité dans l'aire de répartition. L'intensité de la floraison et de la fructification varie d'une année à l'autre dans toutes les forêts des climats contrastés (Champion & Seth, 1968 et Malaise, 1974).

3.4 USAGE DES ESPÈCES IDENTIFIÉES

Divers usages sont à signaler selon que ces arbres sont pris comme combustible, aliment, fourrage et/ou comme élément participant à la restauration soit à l'amélioration du sol tel que structuré dans le tableau 4 ci-dessous. Les résultats de ce tableau montre que la totalité de

nos espèces interviennent comme combustible (bois de chauffage) et/ou dans la carbonisation, certaines donnent du fourrage, d'autres encore sont utilisées dans le sciage, dans la restauration du sol et d'autres comme mellifères et en fin dans diverses fonctions écologiques de l'arbre.

Tableau 4. Usage des arbres identifiés

N°	Espèce	Bois de chauffe, sciage et Carbonisation	PFNL et aliments	Fertilisant et fourrages
1	<i>Acacia auriculoformis</i>			
2	<i>Cassia spectabilis</i>			
3	<i>Calliandra calothyrsus</i>			
4	<i>Cedrella serata</i>			
5	<i>Cordia africana</i>			
6	<i>Grevillea robusta</i>			
7	<i>Markhamia lutea</i>			
8	<i>Leucaena diversifolia</i>			
9	<i>Eucalyptus spp</i>			
10	<i>Anona reticulata</i>			
11	<i>Mangifera indica</i>			
12	<i>Citrus limon</i>			
13	<i>Citrus sinensis</i>			
14	<i>Persea americana</i>			
15	<i>Prunus africana</i>			
16	<i>Artocarpus integrilofia</i>			
17	<i>Leucaena leucocephala</i>			
18	<i>Pinus patula</i>			

Du point de vue usage, le tableau 4 nous indique que toutes les espèces inventoriées sont utilisées comme bois de chauffage, quelques-unes sont utilisées aussi, dans le sciage de planches et d'autres interviennent dans la protection et restauration du sol. D'autres encore interviennent comme fourrage et/ou dans la carbonisation. Ces résultats rejoignent ceux de Christiane (1997) qui considère qu'à partir des arbres on obtient un combustible (bois de chauffage et charbon de bois) pour les pays en voie de développement et démontre aussi avec (Harwood, 1992; Anastase, 1988) l'importance de l'arbre dans le maintien de la fertilité et la protection du sol contre différentes érosions. Considérant nos résultats des plantes agroforestières, ceux-ci sont approuvés par ceux publiés par Baumer (1997) (Nzenda et al, 2018) et qui énumère les espèces agroforestières, il note les plantes telles que *Grevillea robusta*, *Persea americana*, *Acacia*, *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculoformis*, *Markhamia lutea*, *Citrus limon*, *Citrus sinensis*, *Casuarina equisetifolia*.

4 CONCLUSION

La présente étude avait comme objectif d'étudier les phases phénologiques des essences agroforestières rencontrées dans la région de Beni-Butembo. Pour cela, nous avons procédé à l'identification des arbres retrouvés dans les champs des paysans, discuté leur caractéristique et établi la phénologie donc la phase allant de la floraison passant par la fructification jusqu'à la récolte de la semence viable.

De ce fait, 16 espèces ont été identifiées dont certaines sont fixatrices d'azote qui sont *Acacia auriculoformis*, *Leucaena diversifolia*, *Cassia spectabilis*, *Calliandra calothyrsus* d'autres par leurs caractéristiques agroforestières pour la production de la biomasse importante pour l'amélioration de la structure du sol comme *Grevillea robusta*, *Cedrella serata*, *Markhamia lutea*, *Cordia africana*, les *Eucalyptus* par leur croissance rapide donnant le bois en un temps record et les autres espèces produisant des fruits tels que le *Mangifera indica*, *Persea americana*, *Anona reticulata*, *Citrus limon* et *Citrus sinensis* *Artocarpus*.

La phénologie de ces espèces montre que la floraison de la plus part des espèces identifiées intervient en août et la récolte de semence au début de la grande saison sèche vers janvier. D'une manière générale, quelques espèces fleurissent deux fois l'an comme *Leucaena leucocephala*, *Cassia spectabilis*, *Markhamia lutea*, *Grevillea robusta*, *Anona reticulata*. Le *Cedrella serata* en haute terre fleurit et ne fructifie pas, cela dépend de son aire écologique.

La semence d'*Eucalyptus* est disponible toute l'année, mais sa floraison est très visible au mois d'août.

REFERENCES

- [1] Angiosperm Phylogeny Group (2016). An update of Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering-APG IV. *Botan. J. Lin. Soc.*; 181: 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
- [2] Guide du vulgarisateur, Agroforesterie, Service National de Vulgarisation, Kinshasa, n°4, 171p. 1994.
- [3] Monographie de la Province du Nord Kivu, Kinshasa, 306 p. 1998.
- [4] Aubreville, A. 1938. La forêt coloniale; les forêts de l'Afrique occidentale française. *Ann. Sci. Col. Paris* p 1-3.
- [5] Baumer M. 1997. L'Agroforesterie pour les productions animales, centre international pour la recherche en Agroforesterie, CTA, Nairobi, 340p.
- [6] Capon, M. 1947. Observation sur la phénologie des essences de la forêt de Yangambi. In C.R. Sem. Agr., Yangambi (public. INEAC, Bruxelles), 847p.
- [7] Champion, H. G. et Seth, S. 1968. General silviculture for India, Delhi, Manager of publications, 511 p.
- [8] Christiane, S., Bernard, T., Serre, C., Billard, C., Herve, J C., Suzane, L.
- [9] Elisabeth, M. (1987). Sciences et techniques Biologiques et Géologiques, Hatier, Paris, 2ème éd.
- [10] De la Mensburge, C. 1966. La germination et les plantules des essences de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. Nogent-sur-Marne, centre technique forestier, 389 Pages.
- [11] Eghli, A. et Kalingamire, A. 1988. Les arbres et arbustes agroforestiers au Rwanda, ISAR-Butare, p 11-181.
- [12] Florence, R.G. 1964. Acomparative study of flowering and seed production in six black butt (*Eucalyptus pilaris* Sm.) forest stands. In Australian forest, p 205-2014.
- [13] Fournier et Sasson 1983. Ecosystèmes forestiers tropicaux de l'Afrique, ORSTOM-UNESCO, Paris, 473 p.
- [14] Harwood, H., (1992). *Grevillea robusta* in agroforestry preceding a find international works shop, ICRAT, NAIROBI, Kenya.
- [15] Lebrun, J. & Stork, A. (2010). Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale et Tropical African Flowering Plants: Ecology and Distribution, vol. 1, 2, 3, 4, 5 in Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- [16] Longman, K. A. et Jenik, J. 1974. Tropical forest and its environment, London.
- [17] Malaise, F. 1974. Phenology of zambezian woodland area, with emphasis on the miomboecosystem. In Lieth, H. edition. Phenology and season modeling p269-286, Berlin and New York, springer verlag, Ecological studies, n° 8, 444 p.
- [18] Maundu, P. & Tengnäs, B. (2005). Useful trees and shrubs for Kenya. World Agroforestry Center- East and central Africa Region, Programme (ICRAF-ECA), Technical Handbook 35, Nairobi/Kenya.
- [19] Kavugho Tasi, Paluku Nzenda & Kamabu Vasombolwa, 2018. Etude phénologique des essences agroforestières et sylvicoles des localités de Kayna-Luofu, Territoire de Lubero (Nord-Kivu, République Démocratique du Congo). *Annales des Sciences et des Sciences Appliquées, UOB, Vol.4 (N° 3/4)*, 68-83.
- [20] Vidal, P. 1956. La disparition de la forêt malgache des hauts plateaux. In *Bois des tropiques*, 49, p 3-8.
- [21] Wayisalire, T. (2001). Etude de quelques caractéristiques phénologiques de la région de Beni-Butembo. TFC inédit Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières de Butembo.

Elaboration d'un tarif de cubage de *Gilletiodendron kisantuense* (ex Vermoesen) J. Léonard de la réserve forestière de YOKO, Ubundu, Province Orientale, R.D.C.

[Development of a cubing tariff for *Gilletiodendron kisantuense* (ex Vermoesen) J. Léonard from the YOKO forest reserve, Ubundu, Province Orientale, R.D.C.]

Muhindo Saiba¹, Kambale Sivihumbwa², Kasereka Shangilia², Kasereka Kyana³, and Kambale Lebon³

¹Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, vétérinaires et Forestières de Butembo, section des Eaux et Forêts,
Nord Kivu, RD Congo

²Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, vétérinaires et Forestières de Kirumba, section des Eaux et Forêts, Lubero,
Nord Kivu, RD Congo

³Institut Supérieur de développement Rural de Kanyabayonga, Lubero, Nord Kivu, 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 present study was carried out with the aim of constructing a local cubic tariff of *Gilletiodendron kisantuense* in the forest reserve of Yoko.

To achieve this, a sample of 46 standing trees with a diameter of ≥ 10 cm was taken into account. The Smalian formula allowed us to determine the standing volume of DHP and DFB and the barrel height.

A relationship was established between DBH and gross volume translated by an exponential regression equation model which proved to be better.

The construction of a local volume tariff was made based on diameter and volume. This rate is applicable in the Yoko Forest Reserve.

KEYWORDS: Tariff, Volume, Cubage, *Gilletiodendron*, Yoko.

RESUME: La présente étude a été menée dans le but de construire un tarif de cubage local de *Gilletiodendron kisantuense* dans la réserve forestière de Yoko.

Pour y parvenir un échantillon de 46 arbres debout de diamètre ≥ 10 cm a été pris en compte. La formule de Smalian nous a permis de déterminer le volume sur pied du DHP et DFB et la hauteur fût.

Une relation a été établie entre le DHP et le volume brut traduite par un modèle d'équation de régression exponentielle qui s'est avéré meilleur.

La construction d'un tarif local de volume a été faite en fonction du diamètre et du volume. Ce tarif est d'application dans la réserve forestière de Yoko.

MOTS-CLEFS: Tarif, Volume, Cubage, *Gilletiodendron*, Yoko.

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'aménagement d'une formation naturelle, il est indispensable au gestionnaire de posséder des outils lui permettant de connaître le capital ligneux sur pied. Ces outils sont les tarifs de cubage donnant le volume total du peuplement ou les volumes individuels des arbres formant ce peuplement (Louppe et *al.* 1992). À ce volume on peut associer des études de biomasse selon des modèles préétablis pour divers types de forêts. Certes, le volume ainsi que la biomasse sont deux termes aussi indispensables dans la connaissance de la dynamique forestière.

La détermination de la surface terrière et du capital forestier sur pied des forêts d'Afrique Centrale comme celle du monde a fait l'objet d'un intérêt continu depuis des siècles, aussi bien en raison de leur signification pour l'estimation des potentialités en matières ligneuses que éléments l'atmosphère (Fournier et *al.* 1983).

En plus, dans le temps où la forêt devient de plus en plus une ressource recherchée tant à l'échelle locale, régionale et internationale pour les industriels et les écologistes, son évaluation exacte revient d'une certaine importance capitale pour exploitation rationnelle et gestion durable des écosystèmes (FAO, 2012).

En effet, de par leur complexité, la grande diversité floristique et faute de moyens, il semble aussi difficile et coûteux aux chercheurs d'élaborer des tarifs de cubage (ou de biomasse) pour toutes les espèces. Et même si l'on peut procéder à l'estimation du volume ligneux sur pied potentiellement aménageable et exploitable, la masse de données à traiter serait énorme lorsque les études de volumes et de biomasse ne sont qu'un aspect dans les études de dynamique forestière. Ainsi on peut se limiter à n'élaborer que des tarifs par ordre de priorité, selon les besoins et les objectifs poursuivis par des projets de recherche.

L'outil indispensable pour cette évaluation est le tarif de cubage qui permet à l'aide des mesures prises sur les arbres par exemple, le diamètre à hauteur de poitrine, le diamètre au fin bout et les hauteurs, d'estimer les volumes approchés en lisant directement sur le tableau les résultats préétablis. Mais malheureusement, la plupart de ces tarifs, si pas tous, sont spécifiques à l'espèce et à la zone inventoriée (Mabiala et *al.* 1981) et (Muhesi et Sahani, 2017).

Cette étude a comme objectif de contribuer à l'élaboration du tarif de cubage local de *Gilletiodendron kisantuense* (Vermoesen ex. Dewild) J. Léonard dans la réserve de la Yoko en Province Orientale en vue de mettre à la disposition du public un outil approprié pour la lecture des volumes d'un arbre connaissant son diamètre à hauteur de poitrine.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU

La réserve forestière de Yoko est une réserve de l'Etat Congolais sous la tutelle du ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts.

La circulation, la pénétration et les recherches scientifiques ne pourront être menées qu'avec l'autorisation des autorités compétentes en livrant une attestation d'autorisation environnementale (Mangambu, 2002).

La réserve de Yoko se situe dans le Groupement Kisesi, Secteur-Chefferie Bakumu-Mangongo, Territoire d'Ubundu, District de la Tshopo, Province Orientale (Dangale, 2004).

Cette réserve comme la ville de Kisangani et ses environs est située à 25°11' Longitude Est et 0°31' Latitude Nord avec une altitude moyenne allant de 396m à 400m (Boyemba, 2005).

Il est daigné d'un climat du type Af selon Koppen et les moyennes de précipitations sont élevées à 1816mm ± 292,88mm. L'humidité relative moyenne envoie 90%, les températures moyennes minimales sont de 20,18°C ± 0,59°C et les maximales sont de 30,75°C ± 0,48°C (Bola, 2002).

L'insolation mensuelle de la réserve en 10^{ème} heure varie entre 31,5 à 57% (Lubini, 1982 et Kamabu, 1987).

Le sol de la réserve comme celui de la ville de Kisangani est un oxisol. La teneur en humus est faible liée à une décomposition rapide des matières organiques due à l'activité biologique intense (Upoki, 2002).

Lomba et Ndjele (1988) ont classé la végétation de la partie Nord de la réserve dans le groupe des forêts sempervirentes à *Brachystegia laurentii*.

2.2 MATERIEL

Deux types de matériel nous ont servi pour la réalisation de cette étude, il s'agit du matériel biologique constitué des arbres de *Gilletiodendron kisantuense*. Tous les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine supérieur ou égal à 10 cm ont été pris en compte.

Le matériel biologique suivant nous a été nécessaire, il s'agit de:

Les relascopes de Bitterlich à bandes étroites pour la mesure des diamètres et hauteurs, deux galons de 50m et 30m pour la délimitation des parcelles-échantillons, des couteaux marqueurs pour les numérotations des arbres et point de diamètre à hauteur de poitrine, des machettes, des jumelles, de la boussole pour l'orientation des layons et l'ordinateur avec Excel pour le traitement des données.

2.3 METHODES

Pour la réalisation de cette de cette étude, nous avons procédé au layonnage, le comptage a consisté à identifier les arbres à mesurer le diamètre à hauteur de poitrine, le diamètre au fin bout et la hauteur fût des parcelles- échantillons (FRM, 2005).

Dans chaque parcelle inventoriée, dénombrée et identifiée, les mesures de diamètres et de hauteur des arbres à diamètre supérieur ou égal à 10cm.

Pour recueillir les paramètres dendrométriques, dans les mêmes échantillons systématiques des parcelles de 100m x100m soit 1ha, ces paramètres mesurés sont les différents diamètres et les différentes hauteurs. La formule de Smalian a été prise en considération pour le calcul de volume des arbres sur pied.

$$V = \frac{\pi (D1^2 + D2^2) Hf}{4 \cdot 2}$$

Pour les analyse six équations ont été choisies pour retenir celle qui donnerait le résultat souhaité (Jaffard, 1986 et Foucart, 1983), il s'agit de linéaire: $Y=a+bd$; logarithmique: $Y= a+\ln b.d$; exponentielle: $Y= a \cdot e^{bd}$; puissance: $Y=a \cdot d^b$; quadratique: $Y=a+bd+cd^2$; inverse: $Y=a+b/d$.

De tous les modèles proposés, il a fallu retenir celui qui ne donne pas des valeurs négatives en volume significativement différentes de celles obtenues par Smalian au seuil de signification de 95% et celui à coefficient de corrélation $r \geq 85\%$ et R^2 aussi élevé (Dagnelie, 1981).

La construction de la table de tarif a été effectuée à l'aide de l'équation retenue (Dagnelie, 1975) tandis que le graphique sera construit en fonction du volume porté en ordonnée et de diamètre porté en abscisse.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES.

- **Structure diamétrale des arbres mesurées**

Le diamètre à hauteur de poitrine est le paramètre le plus utilisé dans les inventaires des forêts tropicales, on l'appelle aussi diamètre de référence (Lokombe, 1996).

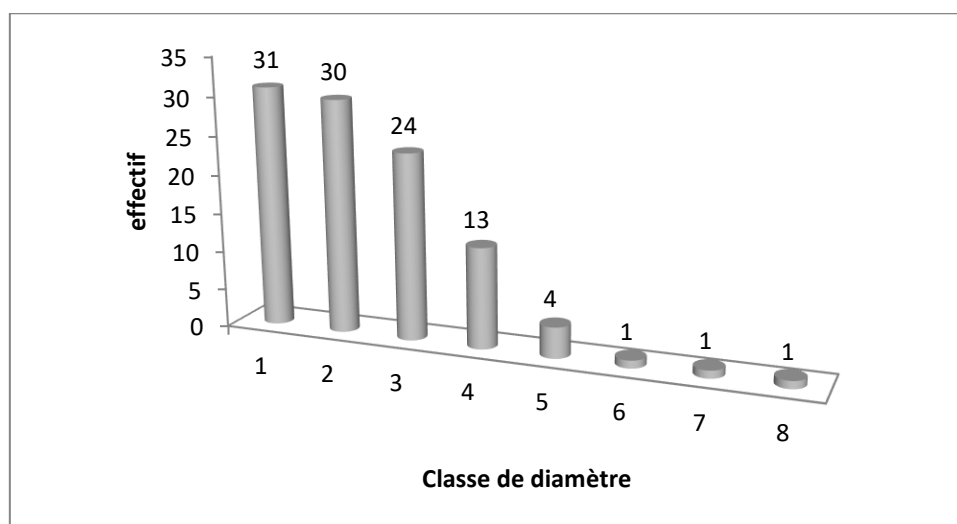


Fig. 1. Graphique des fréquences observées par classe de diamètre

• Calcul du tarif de cubage

La technique forestière en matière de tarif de cubage estime de ce fait qu'un échantillon d'environ 30 arbres suffit largement (Mabiala *et al.* 1981).

3.2 PRÉSENTATION DE MODÈLE DES ÉQUATIONS DE RÉGRESSION.

A partir de la relation de diamètre avec le volume fût, il nous a permis de traiter aisément six équations.

Tableau 1. Caractéristiques des équations de régressions

Equation Elément	Linéaire	Logarithmique	Puissance	Exponentielle	Inverse	Quadratique
N	68	68	68	68	68	68
a	-0,5925	-2,4117	$1,622 \cdot 10^{-4}$	0,0238	1,1317	0,0699
b	0,0347	0,8738	2,19301	0,0732	-15,6423	$-3,163 \cdot 10^{-4}$
c	-	-	-	-	-	$-4,7436 \cdot 10^{-4}$
r	0,7423	0,6393	0,8805	0,8593	0,5133	-
r ²	55%	41%	78%	74%	26%	-

La régression exponentielle et la puissance présentent des coefficients de corrélation r supérieur à 0,8 et les autres ont $r \leq 0,6$, il convient à signaler que la corrélation est parfaite lorsque la corrélation est égale à 1 (Dagnelie, 1985). Toutefois, un coefficient $r \geq 0,8$ révèle une bonne régression pour un tarif de cubage.

Tableau 2. Equations de tarif de cubage de différents modèles

Modèle	Equation	r (%)	r ² (%)	Volume (m ³)
Linéaire	$Y = 0,5925 + 0,034 \cdot D$			32,2034
Logarithmique	$Y = -2,4117 + 0,8734 \ln D$	74,23	55	32,2042
Exponentielle	$Y = 0,023852 e^{0,0732D}$	63,93	41	52,7731
Puissance	$Y = 0,00016 D^{2,19301}$	85,93	74	26,4811
Inverse	$Y = 1,1317 - 15,6423/D$	88,05	78	32,3012
Quadratique	$Y = -0,06987 - 351673 \cdot 10^{-4} D - 4,7436 \cdot 10^{-4} D^2$	51,33	26	-118,6769
Volume brut	Formule de Smalian			32,2706

On retient le modèle exponentiel et puissance car leurs coefficients de corrélation sont élevés.

- Ajustement de χ^2 de Pearson

Tableau 3. Appréciation de la qualité d'ajustement par le test de χ^2

Equations	Paramètres
$V=0,00016 D^{2,19301}$	χ^2 tabulaire: 37,43
	χ^2 calculé: 23,5289
$V=0,0238 e^{0,0734D}$	χ^2 tabulaire: 37,43
	χ^2 calculé: 23,2069

Les valeurs de χ^2 tabulaire pour les deux modèles sont supérieures aux valeurs calculées au niveau de 0,01; d'où la différence est non significative et les deux équations sont acceptables.

- Calcul de l'écart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle et l'intervalle de confiance.

Tableau 4. Paramètres d'appréciation des équations

Equations	Paramètres
$V=0,00016 D^{2,19301}$	Ecart-type résiduel: 0,4957
	Coefficient de variation résiduelle: 127,7%
	Intervalle de confiance à la moyenne: $0,3852 \pm 0,1135$
$V=0,0238 e^{0,0734D}$	Ecart-type résiduel: 0,5842
	Coefficient de variation résiduelle: 74,88%
	Intervalle de confiance à la moyenne: $0,7761 \pm 0,06$

L'équation de puissance a un coefficient de variation résiduelle élevé, d'où son rejet car le choix d'une équation est basé sur un coefficient de détermination élevée et un coefficient de variation résiduelle faible (Njukam, 1995).

- Précision et écart-type sur le coefficient r

Le coefficient de corrélation r a une erreur de 6,5% d'où la précision de 93,5% et une erreur due à l'application du tarif de cubage 8,74% avec une précision de 91,26%.

3.3 CONSTRUCTION D'UN TARIF DE CUBAGE

- Equation de régression

Tableau 5. Forme explicite de l'équation de régression retenue

Type de tarif	Forme explicite de la relation	R ²	ECTR	CVR
Une entrée	$V= 0,0238 e^{0,0734}$	0,74	0,5842	74,88%

Par cette forme explicite de la relation entre le volume brut sur écorce et les variables explicites (Rondeux *et al.* 1988 et Kahindo, 2009).

- Table de cubage

Tableau 6. Construction d'une table de cubage ou barème de cubage

Essence: <i>Gillettiodendron kisantuense</i> Territoire d'application: Réserve forestière de Yoko Equation: $V = 0,0238 e^{0,0734}$										
DHP (cm)	Volume brut (m ³) sur écorce: de la hauteur de poitrine jusqu'à la fourche									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,1261	0,2817	0,3074	0,3829	0,3586	0,3842	0,4098	0,4354	0,4654	0,4866
20	0,5123	0,5379	0,5634	0,5801	0,6147	0,6403	0,6659	0,6915	0,7172	0,7428
30	0,7684	0,7939	0,8196	0,8452	0,8708	0,8964	0,9221	0,9477	0,9733	0,9989
40	1,0245	1,0501	1,0757	1,1013	1,1270	1,1526	1,1782	1,2038	1,2294	1,2550
50	1,2806	1,3062	1,3319	1,3575	1,3831	1,4087	1,4343	1,4599	1,4855	1,5111
60	1,5368	1,5624	1,5879	1,6136	1,6392	1,6648	1,6904	1,7160	1,7417	1,7673
70	1,7929	1,8185	1,8441	1,8697	1,8697	1,9209	1,9466	1,9722	1,9978	2,0234

Cette table révèle que le volume de *Gillettiodendron kisantuense* va de 0.1261 m³ à 2.0234 m³ ce qui correspond à un diamètre minimum de 10cm et un maximum de 70 cm

4 DISCUSSION

- Structure diamétrique de *Gillettiodendron kisantuense*

La distribution des arbres en fonction de leur grosseur présente une décroissance régulière au fur et à mesure que le diamètre augmente mais avec la forme exponentielle à pentes très variables. Les fortes pentes correspondent à des arbres sans grand diamètre mais avec de petits diamètres très nombreux (Fournier et al, 1983) et témoigne d'une installation différée des arbres dans cette réserve, ces observations ont été faite par Kambale et al (2020) a constaté ce phénomène chez *Prunus africana* dans les régions afromontagnardes du Kivu. Cela rejoint les idées de Kambale (2020) et Achille et al (2021) qui stipulent que dans les formations naturelles les arbres des classes supérieures sont moins denses que les arbres de classes inférieures dans la réserve de Kalikuku en RD Congo, ce qui justifie une installation spontanée de ce peuplement.

- Comparaison du tarif de Yoko avec ceux des provinces forestières

Tableau 7. Tarif de Yoko avec ceux des provinces du Congo

Province	Equations
Bandundu	$V = 0,00016242 D^{2,27505}$
Bas-Congo	$V = 0000316561 D^{2,246316682}$
Equateur	$V = 000041287 D^{2,15260045}$
Province Orientale	$V = 00004658 D^{2,1340008}$
Réserve forestière de Yoko	$V = 0,0238 e^{0,0734}$

La réserve forestière de Yoko présente un tarif de cubage de modèle exponentiel, e qui est différent des tarifs des provinces de la RDC comme élaborés par le FRM (2005) et le ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts (FRM & WWF, 2005) et Muhesi et Sahani (2017) qui présentent des modèles puissance, ce contraste est lié au fait que les tarifs des provinces sont issus des arbres dits autres essences, ce qui implique des centaines d'espèces de la RDC aux caractéristiques dendrométriques différentes.

- Comparaison des volumes obtenus au moyen des différents tarifs de cubage à une entrée des provinces avec celui de la réserve forestière de Yoko

Province	DHP (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bandundu	20	0,1641	0,1834	0,1237	0,2256	0,2485	0,2727	0,1981	0,3249	0,3529	0,3822
Bas-Congo		0,2677	0,2987	0,3316	0,3664	0,4030	0,4419	0,4826	0,5253	0,5701	0,6168
Equateur		0,6518	0,7349	0,8241	0,9193	1,0208	1,2787	1,2430	1,3640	1,4917	1,6262
Province Orientale		0,2809	0,3117	0,3785	0,3785	0,4144	0,4522	0,4916	0,5328	0,5759	0,6209
Yoko		0,5123	0,5379	0,5634	0,5801	0,6147	0,6403	0,6659	0,6915	0,7172	0,7428
Bandundu	30	0,4129	0,4448	0,4781	0,5128	0,5488	0,5862	0,6251	0,6653	0,7069	0,7499
Bas-Congo		0,6656	0,7165	0,7695	0,8245	0,8817	0,9411	1,0025	1,0662	1,1319	1,2000
Equateur		1,7677	1,9162	2,0719	2,2349	0,4052	2,5831	2,7685	2,9615	3,1624	3,3712
Province Orientale		0,6672	0,7156	0,7658	0,8177	0,8715	0,9271	0,9846	1,0439	1,1050	1,1680
Yoko		0,7684	0,7939	0,8196	0,8452	0,8708	0,8964	0,9221	0,9477	0,9733	0,9989
Bandundu	50	1,3198	1,3806	1,4430	1,5069	1,5724	1,6394	1,7080	1,7782	1,8499	1,9233
Bas-Congo		2,0969	2,1923	2,2900	2,3901	2,4926	2,5975	2,7048	2,8145	2,9266	3,0412
Equateur		6,2129	6,5231	6,8424	7,1707	7,5082	7,8549	8,2111	8,5766	8,9516	9,3361
Province Orientale		1,9847	2,0704	2,1580	2,2475	2,3389	2,4324	2,5277	2,6250	2,7243	2,8255
Yoko		1,2806	1,3062	1,3319	1,3575	1,3831	1,4087	1,4343	1,4599	1,4855	1,5111

Légende: DHP= diamètre à hauteur de poitrine

Le tarif de cubage de Yoko donne les valeurs qui s'approchent de celles de Bandundu, du Bas-Congo et de la Province Orientale dans les classes de diamètre inférieures à 40cm, tandis que dans les classes supérieures à 40cm le tarif de Yoko reste inférieur.

Néanmoins, le tarif local de Yoko donne de valeurs inférieures à celles du Bandundu et celui de l'Equateur présente des valeurs très élevées par rapport à celles de Yoko, cette situation peut se justifier par l'utilisation d'un nombre élevé d'arbres de petites dimension par rapport aux arbres de classes de grande dimension dans la confection des tarifs de cubages des provinces dits des autres essences.

Le tarif de cubage local de *Gilletiodendron kisanuense* est applicable à la réserve forestière de Yoko (Parde, 1961) et pour les diamètres allant de 10 cm à 80 cm. Muhesi et Sahani (2017) qui a Butembo avait prédit dans leurs recherches sur le tarif de cubage que le tarif de cubage de *Grevillea robusta* et de *Cedrella odorata* variait selon les zones écologiques.

5 CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif de construire un tarif de cubage de *Gilletiodendron kisanuense* dans la réserve forestière de Yoko. Pour construire ce tarif un échantillon de 68 arbres debout ayant un diamètre à hauteur de poitrine supérieur ou égal à 10 cm. Les diamètres et les hauteurs ont été mesurés à l'aide d'un Rélascope de Bitterlich à bandes étroites.

Les résultats obtenus donnent après analyse un tarif à une entrée (volume en fonction du DHP).

Le modèle retenu est $Y=0,0238 e^{0,0734 D}$, le modèle exponentiel ainsi retenu, l'hypothèse de l'existence de relation entre le volume et le diamètre et celle de la traduction de celle-ci sous forme d'équation est confirmée.

Le tarif de cubage local de *Gilletiodendron kisanuense* est applicable à la réserve forestière de Yoko (Parde, 1961) et pour les diamètres allant de 10 cm à 80 cm.

REFERENCES

- [1] Bola, M. 2002. Epiphytes vasculaires et protophytes de l'écosystème urbain de Kisangani. Dissertation de DES inédite Faculté des Sciences, Unikis, 214p.
- [2] Boyemba, D. 2006. Diversité et régénération des essences forestières exploitées dans les forêts des environs de Kisangani. Mémoire de DEA, ULB, Fac des Sciences. Laboratoire de Botanique et de Phytotaxonomie 101p.
- [3] Dagnelie, P. 1975. Théories et méthodes statistiques. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, vol.1, 204p..
- [4] Dagnelie, P. 1983. Principes d'expérimentation au champ. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, 378p.
- [5] Dagnelie, P. 1985. Table de cubage des arbres de peuplements forestiers. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, 148p.
- [6] Dangale, O. 2004. Plantes myrmécophiles de Yoko, Bloc Nord, mémoire inédit, Fac des Sci. Unikis, 32p.
- [7] FAO, 2012. Situation des forêts du monde, Rome, 66p.
- [8] Fournier et Sasson, A. 1983. Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique, ORSTOM-UNESCO, 473p.
- [9] FRM, 2005. Formation des aménagistes et gestionnaires forestiers, Notions introductives, Libreville, Gabon, 148p.
- [10] FRM & WWF, 2005. Normes d'inventaire d'aménagement forestier, ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts, Kinshasa, 32p.
- [11] Kahindo M., 2009. Contribution à l'élaboration du tarif de cubage et de la biomasse de *Gilbertiodendron dewevrei* de la réserve de Bawombi, Province Orientale, mémoire inédit, Unikis.
- [12] Kamabu, V. 1987. Aperçu de la biomasse des quelques groupements post-culturels de la sous-région de Kisangani. In Annales de la Faculté des Sciences Unikis p33-43.
- [13] Kambale Muhesi Eloge, Mate Mweru Jean Pierre, Muhindo Sahani Walere and Mbayu Mpanya Faustin 2020. Effect of altitudinal gradient on the dendrometric parameters of *Prunus africana* (Hook. F.) Kalkman at the East of Democratic Republic of Congo, Journal of Research in Biology Vol. 10 (1): 2780 -2786.
- [14] KAMBALE MUHESI Eloge 2020, Influence of spatial distribution on the regeneration of the dense forest of Kalikuku, Lubero, North Kivu, Democratic Republic of Congo, Journal of Research in Biology Vol. 10 (1): 2787 -2795.
- [15] Lokombe, D. 1996. Etude dendrométrique de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* dans la Collectivité des Bamanga. Mémoire de DES inédit IFA/Yangambi, 120p.
- [16] Lomba et Ndjole, M. 1998. Utilisation de la méthode de transect en vue de l'étude de la phytodiversité dans la réserve forestière de Yoko, Partie Nord. Annales Fac des Sci. Unikis.
- [17] Lubini, A. 1987. Végétation méssicole et post-culturelle de la sous-région de Kisangani et de la Tshopo. Thèse de doctorat inédite, Unikis, 489p., Annales de la Fac des Sci. N°11 Unikis p35-46.
- [18] Lutumba Suika Achille, Kebin Zhang¹, Kambale Muhesi Eloge, Christian Jonathan Anona Kouassi¹, Mbangilwa Mukombe Michel 2021. Influence of Spatial Distribution on the regeneration of *Piptadeniastrum africanum* and *Cotea usambensis* in Kalikuku, Lubero, North Kivu, Democratic Republic of Congo, Open Journal of Ecology, 2021, 11, 527-539, DOI: 10.4236/oje.2021.117034.
- [19] Mabiala et Kandara, S. 1981. Tarif de cubage, Normes d'inventaire forestier, SPIAF, cahier n°4, Kinshasa, 58p.
- [20] Mangambu, M. 2002. Etude de peuplement du sous-bois dans la partie nord de la réserve forestière de Yoko, Ubundu, mémoire inédit Fac. Des Sci. Unikis, 56p.
- [21] Muhesi K. et Sahani M, 2017. Contribution à l'élaboration du tarif de cubage et de la biomasse des espèces agroforestières en ville de Butembo, Cas de *Grevillea robusta* et *Cedrela odorata*, Parcours et Initiatives, Revue interdisciplinaire du GRIG/UCG, Vol 1 N°17.
- [22] Njukam, R. 1995. Contribution à l'étude des interactions entre les essences forestières à croissance rapide et le sol de savanes tropicales humides. Cas de la réserve forestière de Melap au Cameroun. Thèse de doctorat inédite FUSA, Gembloux, 162p.
- [23] Parde, J. 1961. Dendrométrie, édition de l'école nationale des eaux et forêts de Nancy, Paris, 350p.
- [24] Rondeux, Thibault et André, 1998. Construction d'un tarif de cubage des arbres pour Aulne (*Alnus glytina* L. Gaerts). Presses Agronomiques de Gembloux, p3-8.
- [25] Upoki, A. 2002. Etude de peuplement de Bulbuls (F. de Pycnotidae, O. Passeiformes) de la réserve forestière de Masako, Kisangani, Thèse de doctorat inédite Fac. desSci. Unikis, 109p.

Approche analytique de l'étude de la flexion d'une poutre console et simulation numérique avec le code de calcul Cast3M

[Analytical approach to the study of the bending of a console beam and numerical simulation with the Cast3M calculation code]

Ahmed Doumbia¹ and Pierre Jean-Marie Richard Dablé²

¹Département Sciences de la Terre, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²Département Génie Mécanique et Energétique, Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, 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: The physical reality is often very complicated to be able to analytically solve mechanical problems. Currently, the only approaches making it possible to meet these needs are based on numerical methods based on the discretization of the problems. In mechanical and civil engineering, significant efforts are currently focused on the use of numerical simulations to solve these problems. This work is a comparative approach focusing on the analytical method to solve the problem of the bending of a beam and a numerical approach based on simulation by the Cast3M calculation code. The results obtained are of great agreement.

KEYWORDS: Beam, analytical approach, Discretization, Finite elements, numerical simulation.

RESUME: La réalité physique est souvent très compliquée pour pouvoir résoudre analytiquement des problèmes mécaniques. Actuellement, les seules approches permettant de répondre à ces besoins sont fondées sur les méthodes numériques basées sur la discrétisation des problèmes. En génie mécanique et civil, des efforts importants portent actuellement sur l'utilisation des simulations numériques pour résoudre ces problèmes. Ce travail est une approche comparative portant sur la méthode analytique pour résoudre le problème de la flexion d'une poutre et une approche numérique basée sur la simulation par le code de calcul Cast3M. Les résultats obtenus sont d'une grande concordance.

MOTS-CLEFS: Poutre, approche analytique, Discrétisation, Eléments finis, simulation numérique.

1 INTRODUCTION

Pour les problèmes mécaniques complexes, la résolution analytique se trouve très souvent limitée. Les méthodes numériques basées sur la discrétisation de ces problèmes est une alternative très efficace utilisée dans le domaine de la mécanique pour résoudre ces problèmes complexes [1]. De toutes ces méthodes de discrétisation, la méthode des éléments finis est la plus utilisée car elle permet, d'une part, de traiter des systèmes très variés avec des géométries et des comportements complexes et, d'autre part, couvre de nombreux domaines de la physique. Sa mise en œuvre est rendue facile grâce au développement actuel de l'outil informatique. Son champ d'application ne cesse de s'élargir [2], [3]. Cette méthode doit son succès à sa formulation qui utilise des procédés standards se répétant au cours de la résolution de problèmes de nature différentes [4], [5], [6]. Ce travail consiste à traiter analytiquement et numériquement par des simulations utilisant le code de calcul Cast3m la flexion simple statique d'une poutre. Deux cas de figure sont traités. La poutre, encastree à une extrémité à gauche et libre à l'autre à droite, est soumise à une charge ponctuelle puis uniforme sur toute sa longueur. L'objectif est de comparer les résultats obtenus.

2 FLEXION SIMPLE

La flexion est la déformation d'un objet qui se traduit par une courbure. Dans le cas de la poutre, elle tend à rapprocher les deux extrémités. En effet, une poutre est sollicitée en flexion simple lorsque toutes les forces qui lui sont appliquées sont perpendiculaires à la ligne moyenne, et soit situées dans le plan de symétrie, soit réparties symétriquement par rapport à celui-ci, ou concentrées en un point ou réparties suivant une loi.

Le torseur des efforts de cohésion se résume à deux composantes: l'effort tranchant T_y et le moment fléchissant M_{fz} [7] (Fig. 1.).

Pour obtenir l'équation de la déformée qui est sous la forme $y = f(x)$, on résout l'équation suivante par deux intégrations successives:

$$M_f = EIy'' \quad (1)$$

Avec :

E : module de Young.

I : le moment d'inertie de la section transversale de la poutre calculé par rapport à l'axe qui passe par le centre de gravité de la section perpendiculairement au chargement,

y : ordonnée de la fibre étudiée,

$M_f(x)$: moment fléchissant dans la section d'abscisse x considéré.

Les constantes d'intégration sont obtenues à partir des conditions aux limites (Tableau 1) [8], [9]:

Tableau 1. Conditions aux limites

	Conditions aux limites	
	Encastrement	Appui simple
Flèche	$y = 0$	$y = 0$
Rotation	$y' = 0$	

Notre étude porte sur une poutre rectangulaire à section symétrique. Dans ce cas, la fibre neutre passe par le centre de gravité et y varie de la valeur $-\frac{h}{2}$ à la valeur $\frac{h}{2}$. (Fig. 2.).

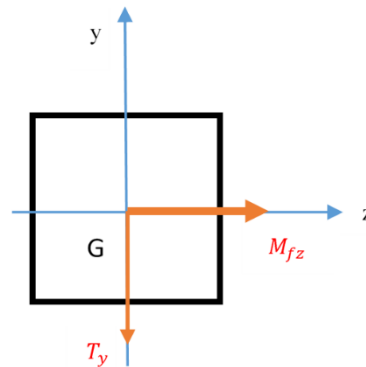


Fig. 1. Eléments de réduction du torseur des efforts de cohésion

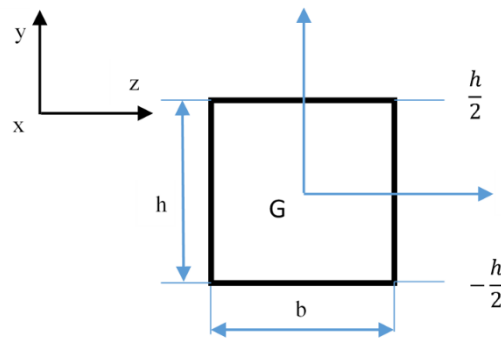


Fig. 2. Caractéristiques géométriques du profil de la poutre

3 ETUDE ANALYTIQUE DE LA FLEXION SIMPLE D'UNE POUTRE RECTANGULAIRE

Dans cette étude, on se propose d'évaluer analytiquement les moments, les rotations et les déformations de la flexion simple statique d'une poutre rectangulaire de géométrie simple à deux dimensions dans l'espace tridimensionnel.

3.1 PREMIER CAS: POUTRE ENCASTREE LIBRE CHARGE CONCENTREE

On cherche à étudier la flexion d'une poutre encastree par une extrémité et libre de l'autre, soumise à une charge concentrée $P = 150$ N, de longueur $L = 0.20$ m, de section rectangulaire avec les caractéristiques géométriques $b = 0.005$ m, $h = 0.007$ m, $E = 124\,000$ MPa, $\nu = 0.33$ (Fig. 3.). Les expressions du moment fléchissant, de la rotation et de la flèche sont données dans le tableau 2.

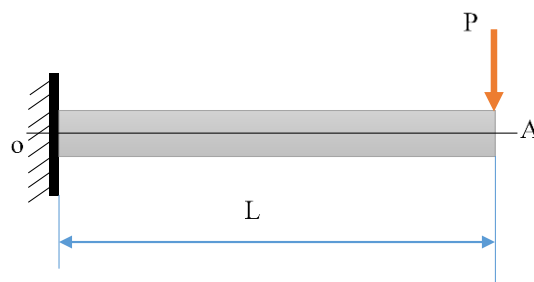


Fig. 3. Poutre encastree avec une force concentrée

Les équations du moment fléchissant, de la rotation et de la flèche sont respectivement données par les équations (2), (3) et (4) pour $x \in [0, L]$:

$$M_f = -P(L - x) \quad (2)$$

$$\theta = -\frac{P}{2EI}(2L - x)x \quad (3)$$

$$y = -\frac{P}{6EI}(3L - x)x^2 \quad (4)$$

Les diagrammes respectifs sont donnés aux Figures 4, 5 et 6.

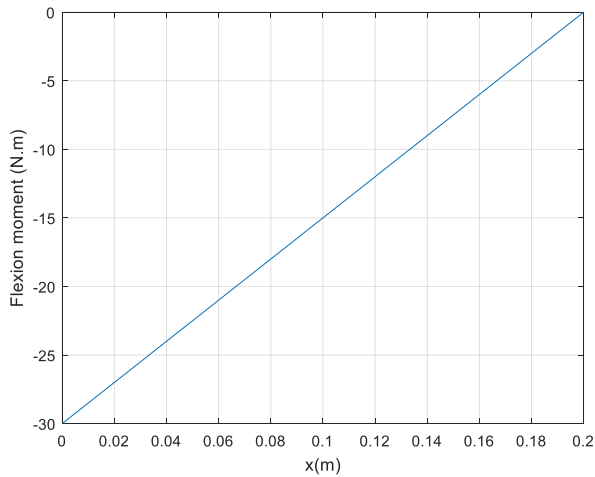


Fig. 4. Evolution du moment fléchissant le long de la poutre

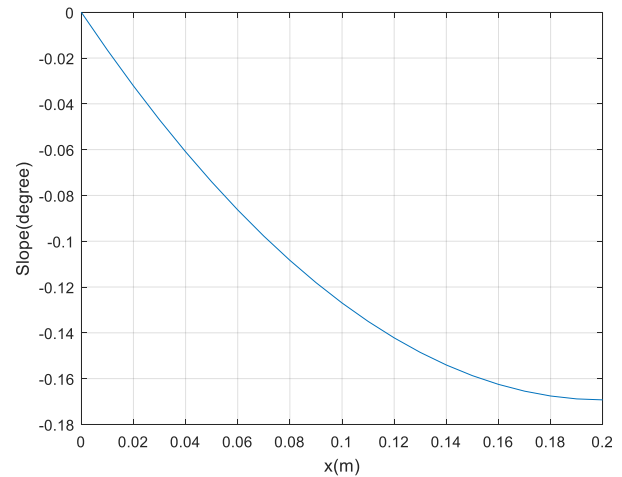


Fig. 5. Evolution de la rotation de la section droite

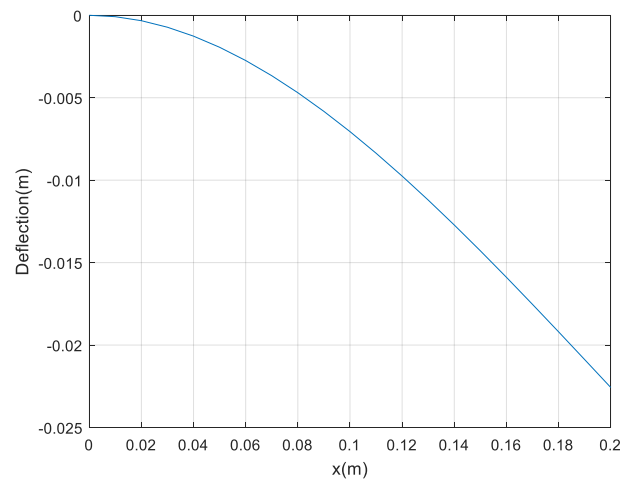


Fig. 6. Evolution de la flèche le long de la poutre

3.2 DEUXIEME CAS: POUTRE ENCASTREE LIBRE UNIFORMEMENT CHARGEE

On considère, comme précédemment, la flexion d'une poutre encastrée par une extrémité et libre de l'autre. Elle est soumise à une charge uniformément répartie $q = 70 \text{ N/m}$ sur toute sa longueur égale à $L = 0.20 \text{ m}$. Sa section est rectangulaire avec les caractéristiques géométriques $b = 0.005 \text{ m}$, $h = 0.007 \text{ m}$, $E = 124\,000 \text{ MPa}$, $\nu = 0.33$ (Fig. 7.)

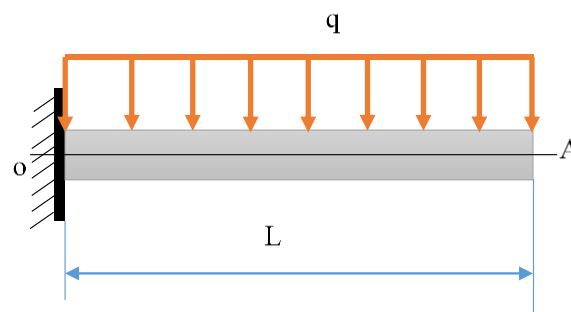


Fig. 7. Poutre encastrée libre uniformément chargée

Les équations du moment fléchissant, de la rotation et de la flèche sont respectivement données par les équations (5), (6) et (7) pour $x \in [0, L]$:

$$M_f = -\frac{q}{2} (L - x)^2 \quad (5)$$

$$\theta = \frac{-qx}{6EI} (x^2 - 3Lx + 3L^2) \quad (6)$$

$$y = \frac{-qx^2}{24EI} (x^2 - 4Lx + 6L^2) \quad (7)$$

Les diagrammes respectifs sont donnés aux Figures 8, 9 et 10.

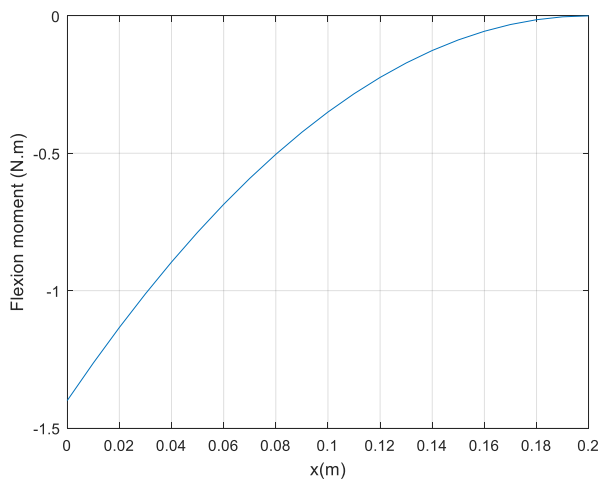


Fig. 8. Evolution du moment fléchissant le long de la poutre

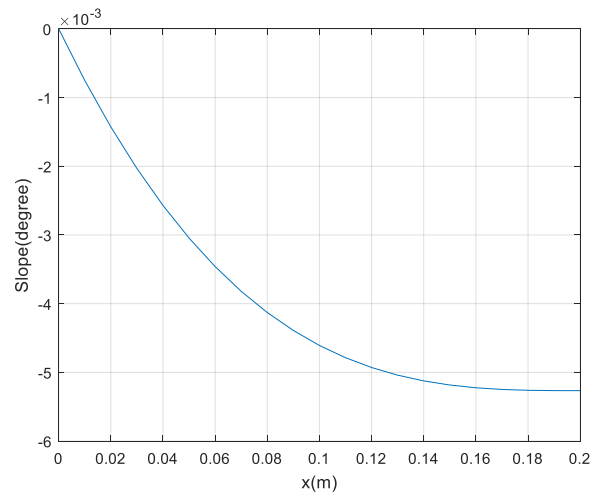


Fig. 9. Evolution de la rotation de la section droite

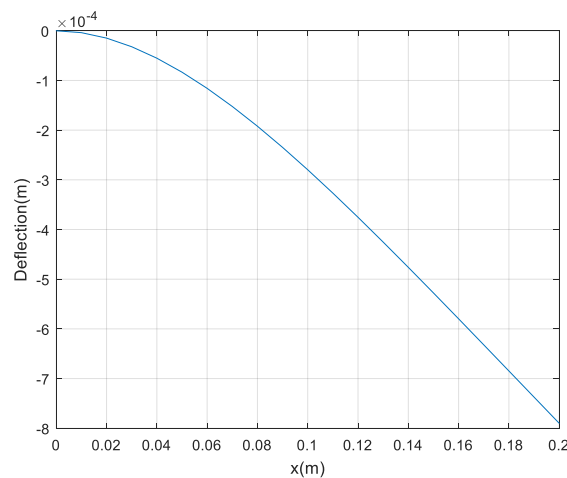


Fig. 10. Evolution de la flèche le long de la poutre

4 SIMULATION NUMERIQUE DE LA FLEXION D'UNE POUTRE RECTANGULAIRE

Pour cette simulation, nous adoptons les hypothèses de la mécanique des milieux continus en statique. On suppose que le matériau (un cuivre) est élastique linéaire isotrope et que la poutre se déforme suffisamment pour que les l'hypothèse des petites perturbations soit vérifiée. L'action extérieure sur la poutre est modélisée par un encastrement (à gauche) et un effort ponctuel (extrémité droite) pour le premier cas de figure; pour le second cas, une charge uniformément répartie est appliquée sur toute la longueur. Nous choisissons de faire des simulations par le code de calcul Cast3m. Les résultats obtenus sont les suivants:

4.1 PREMIER CAS: POUTRE ENCASTREE LIBRE CHARGE CONCENTREE

Les différentes grandeurs calculées sont représentées à la figure 11.

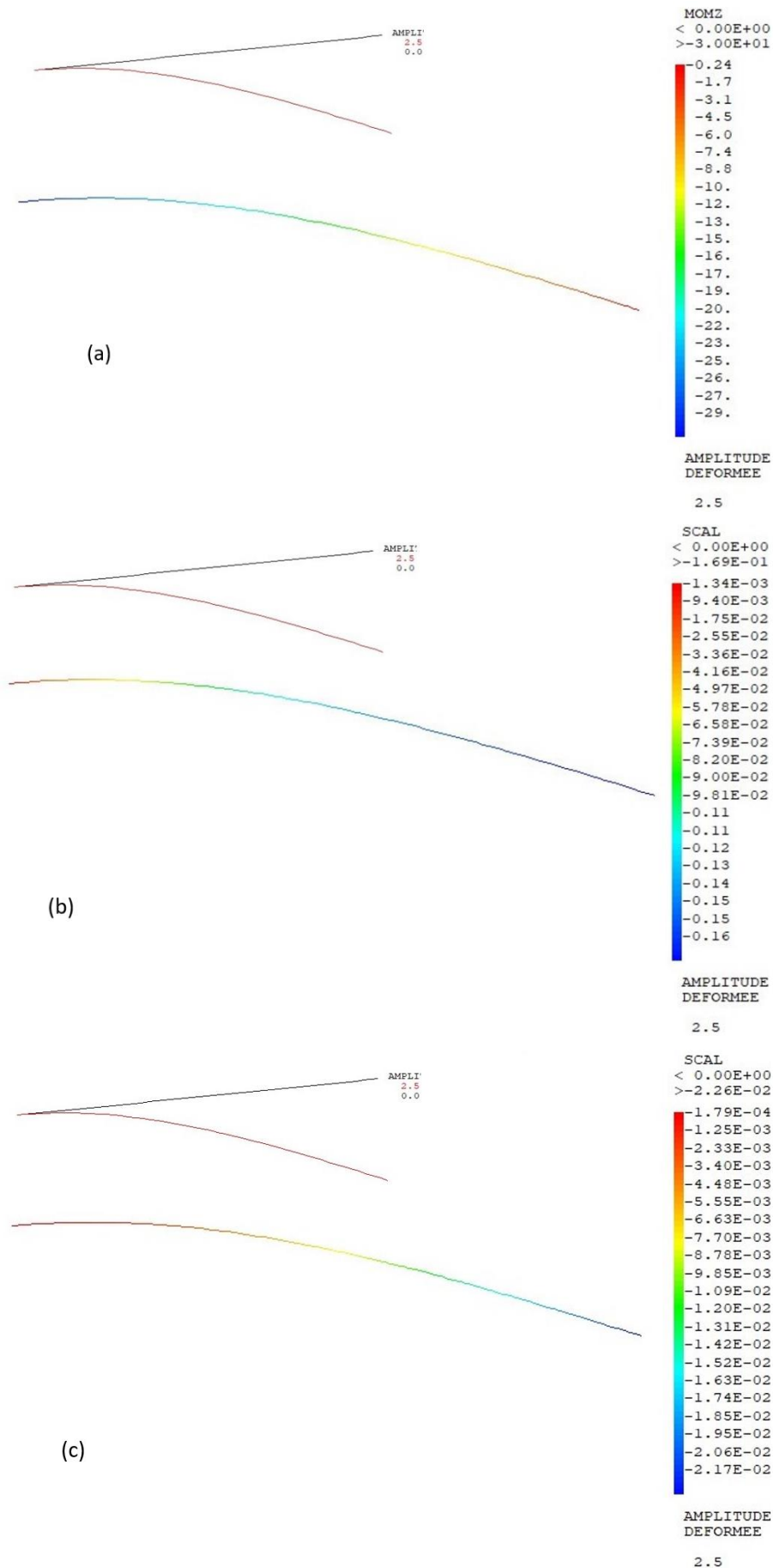


Fig. 11. Diagrammes de (a) Moment fléchissant, (b) Rotation, (c) Flèche

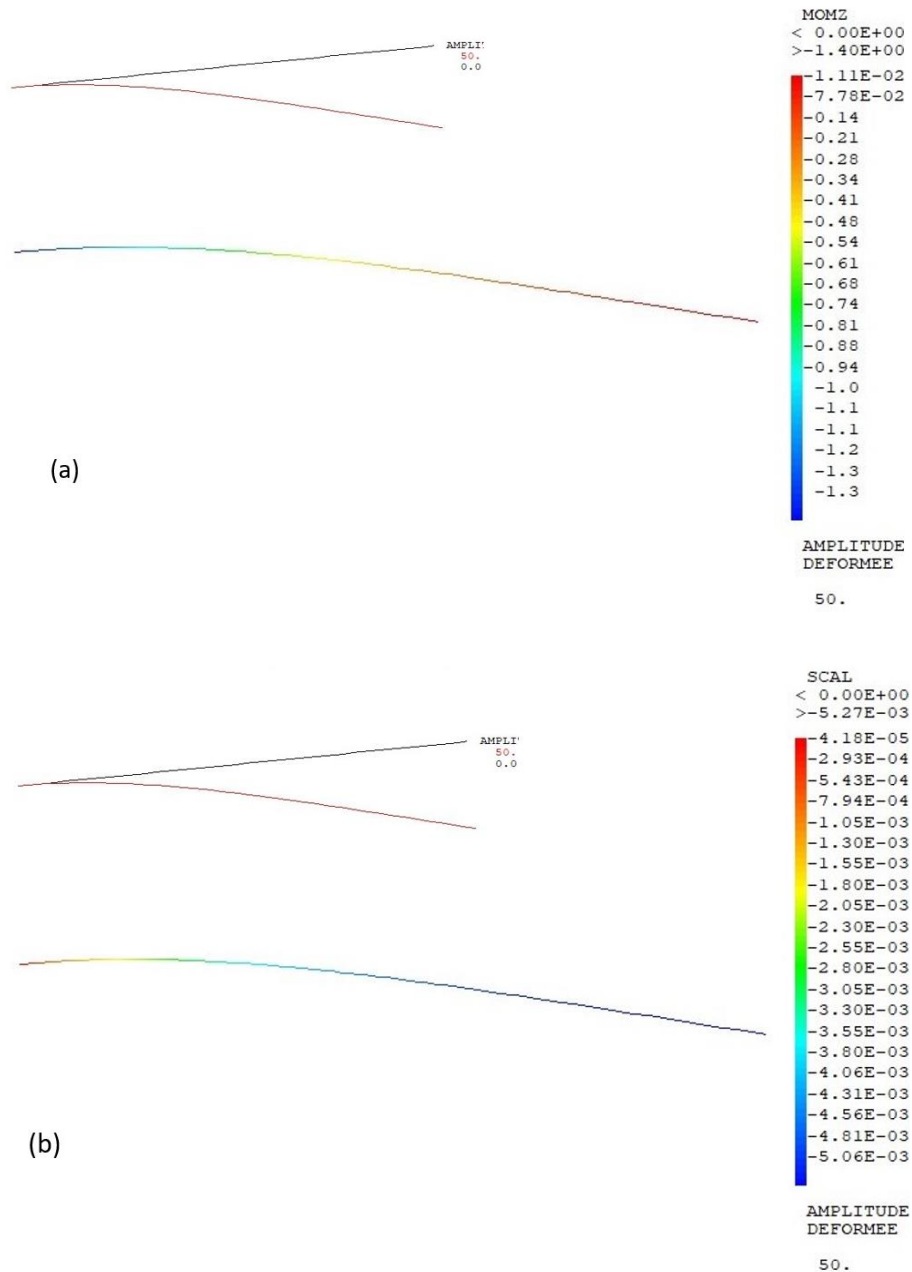
Les différentes valeurs extrêmes sont indiquées dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeurs extrêmes du moment fléchissant, de la rotation et de la flèche

	Moment de flexion	Rotation	Flèche
Valeurs maximales	-30.00	-0.1693	$-2.257.10^{-2}$
Valeurs minimales	0	0	0

4.2 DEUXIEME CAS: POUTRE ENCASTREE LIBRE UNIFORMEMENT CHARGEE

Les différentes grandeurs calculées sont représentées à la figure 12.



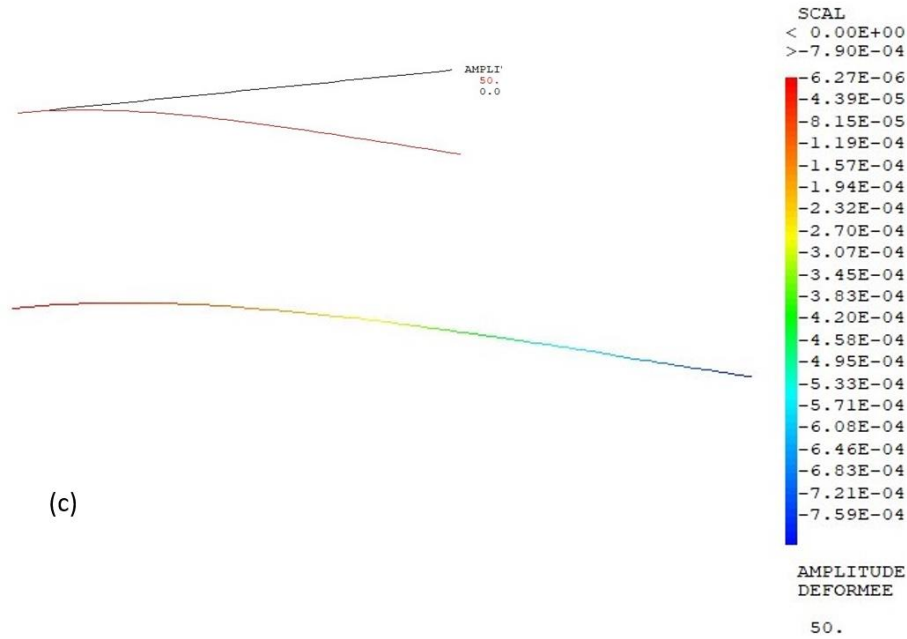


Fig. 12. Diagrammes de (a) Moment fléchissant, (b) Rotation, (c) Flèche

Les différentes valeurs extrêmes sont indiquées dans le tableau 3.

Tableau 3. Valeurs extrêmes du moment fléchissant, de la rotation et de la flèche

	Moment de flexion (N.m)	Rotation (degré)	Flèche (m)
Valeurs maximales	-1.4	$-0.5268.10^{-2}$	$-0.7901.10^{-3}$
Valeurs minimales	0	0	0

5 COMPARAISON DES RESULTATS ANALYTIQUES ET DE LA SIMULATION NUMERIQUES

5.1 PREMIER CAS: POUTRE ENCASTREE LIBRE CHARGE CONCENTREE

Nous notons que les valeurs des moments, des rotations et des flèches de flexion trouvées par l'étude analytique et celles de la simulation numérique par le code de calcul CAST3M (Fig. 13, Tableau 4). Cela permet de valider ces simulations. Nous avons également tracé les courbes représentatives de ces grandeurs analytiques et celles obtenues par la simulation; les superpositions de ses courbes montre la grande concordance.

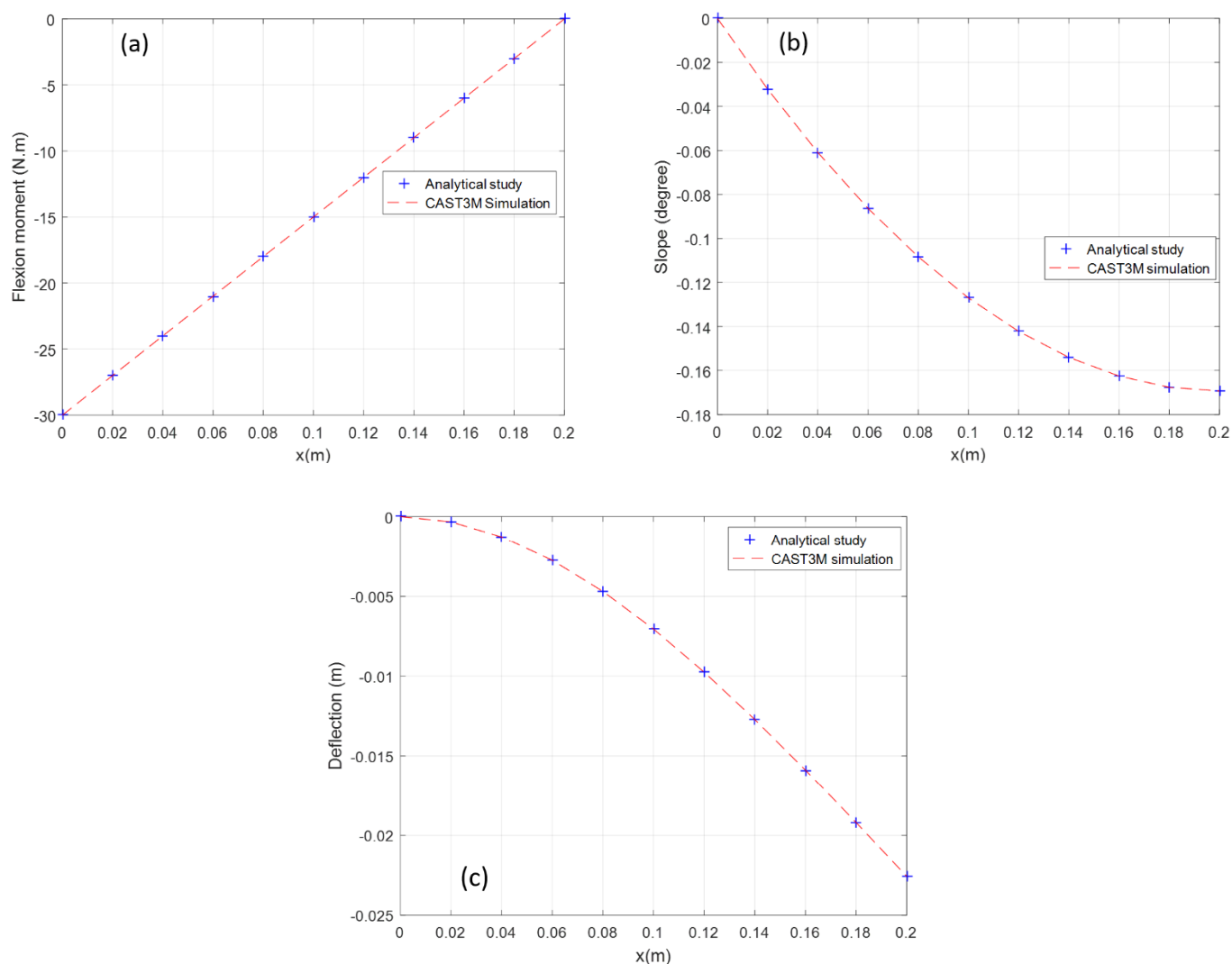


Fig. 13. Graphes de comparaison (a) Moment fléchissant, (b) rotation, (c) Flèche

Tableau 4. Comparaison des Moment fléchissant, des rotations et des Flèche

X (m)	Moment de flexion (N.m)		Rotation (degré)		Flèche (m) $\times 10^{-2}$	
	Analytique	CAST3M	Analytique	CAST3M	Analytique	CAST3M
0.00	-30	-30	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.02	-27	-27	-0.03216	-0.03216	-0.03273	-0.03273
0.04	-24	-24	-0.06094	-0.06094	-0.12640	-0.12640
0.06	-21	-21	-0.08633	-0.08633	-0.27420	-0.27420
0.08	-18	-18	-0.10830	-0.10830	-0.46950	-0.46950
0.10	-15	-15	-0.12700	-0.12700	-0.70540	-0.70540
0.12	-12	-12	-0.14220	-0.14220	-0.97510	-0.97510
0.14	-9	-9	-0.15400	-0.15400	-1.27200	-1.27200
0.16	-6	-6	-0.16250	-0.16250	-1.58900	-1.58900
0.18	-3	-3	-0.16760	-0.16760	-1.92000	-1.92000
0.20	0	0	-0.16930	-0.16930	-2.25700	-2.25700

5.2 DEUXIEME CAS: POUTRE ENCASTREE LIBRE UNIFORMEMENT CHARGEE

Comme dans le cas précédent, nous faisons la même remarque de la très grande concordance entre les valeurs des moments, des rotations et des flèches de flexion trouvées par l'étude analytique et celles de la simulation numérique par le code de calcul CAST3M (Fig. 14, Tableau 5). Cela permet également de valider ces simulations. Les courbes représentatives de ces grandeurs analytiques et celles obtenues par la simulation sont tracées. Leurs superpositions confirment la grande concordance.

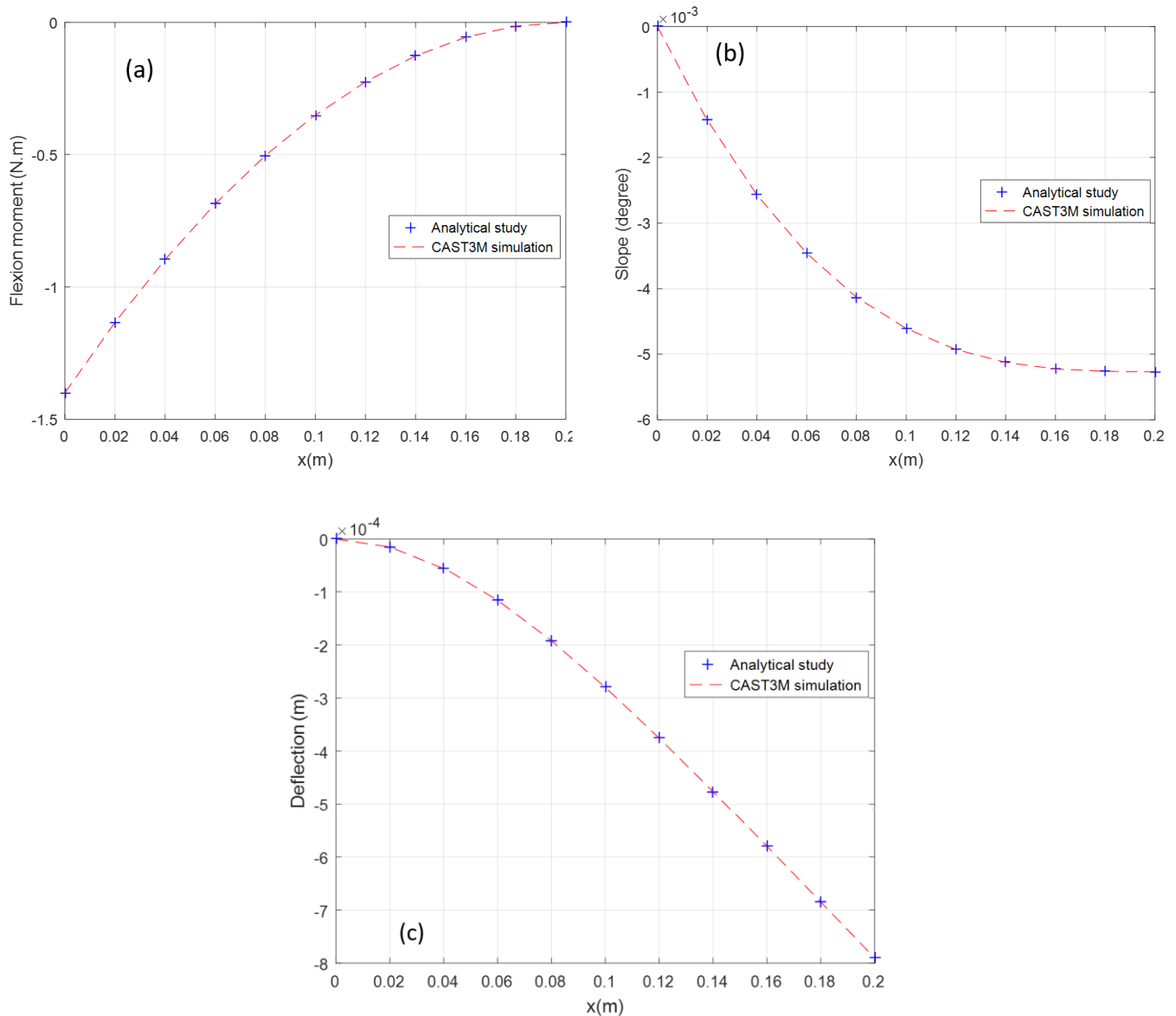


Fig. 14. Graphes de comparaison (a) Moment fléchissant, (b) rotation, (c) Flèche

Tableau 5. Comparaison des Moment fléchissant, des rotations et des Flèche

X (m)	Moment de flexion (N.m)		Rotation (degré) $\times 10^{-2}$		Flèche (m) $\times 10^{-3}$	
	Analytique	CAST3M	Analytique	CAST3M	Analytique	CAST3M
0.00	-1.4000	-1.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.02	-1.1340	-1.1340	-0.1427	-0.1427	-0.01477	-0.01477
0.04	-0.8960	-0.8960	-0.2570	-0.2570	-0.05519	-0.05520
0.06	-0.6860	-0.6860	-0.3460	-0.3460	-0.11590	-0.11590
0.08	-0.5040	-0.5040	-0.4129	-0.4129	-0.19210	-0.19210
0.10	-0.3500	-0.3500	-0.4608	-0.4609	-0.27980	-0.27980
0.12	-0.2240	-0.2240	-0.4930	-0.4930	-0.37540	-0.37540
0.14	-0.1260	-0.1260	-0.5124	-0.5125	-0.47610	-0.47620
0.16	-0.0560	-0.0560	-0.5224	-0.5225	-0.57970	-0.57980
0.18	-0.0140	-0.0140	-0.5261	-0.5262	-0.68470	-0.68480
0.20	0.0000	0.0000	-0.5267	-0.5268	-0.79000	-0.79010

6 CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons eu pour objectif la comparaison des résultats analytiques et numériques obtenus suite à plusieurs simulations utilisant le code de calcul CAST3M, pour le cas de la flexion simple d'une poutre console soumise respectivement à une charge concentrée puis uniforme sur toute sa longueur. Les résultats obtenus pour les moments, les rotations et les flèches sont très concordants. Nous avons une erreur quasi nulle sur les valeurs à plus de cinq chiffres après la virgule. Cela permet la validation et l'emploi de ces simulations et montre l'exploitation de ce logiciel dans le domaine de la mécanique.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Service Modélisation des Systèmes et Structures (DM2S) de la Direction de l'Energie Nucléaire du Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) pour la mise à disposition du logiciel Cast3M.

REFERENCES

- [1] M. Lassouad and S. Daghboudj, Étude de la Concentration de Contraintes dans une plaque trouée sollicitée en traction", Master 2, Université de Tébessa, 2011.
- [2] C. Oubraham and S. Drizi, Simulation du Comportement Instantané Et différé d'une zone en béton armé, Thèse de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2010.
- [3] E. Polania, Contribution à l'étude du comportement des planchers composites poutres - dalles alvéolées préfabriquées en béton, Thèse de Doctorat, Insa Toulouse, 2006.
- [4] H. Oudin, Méthode des éléments finis, Université du Maine, Le Mans, 2003.
- [5] Parrochia D., L'expérience dans les sciences modèles et simulation, Vol. I. Paris: Éd. Odile Jacob, pp. 193-203, 2000.
- [6] Rivers R. H. and Vockell E, "Computers simulations to stimulate scientific problem solving", Journal of Research In Science Teaching, no. 24, pp. 403-415, 1987.
- [7] M. Aitali and M. Pinglot, "Modelisation du comportement en flexion statique des sections rectangulaires en béton armé", Materials And Structures, Vol. 26, pp. 207-213, 1995.
- [8] A. Zeghloul, Concepts fondamentaux de la mécanique de la rupture, Université De Metz, 2003-2004.
- [9] N. Bourahla, Résistance des matériaux de base, Université Saad Dahlab De Blida [Online], Available: <https://www.coursehero.com/file/51766390/Resistance-des-materiaux-de-basepdf/> (13 mai, 2021).

Le segment de paysage et le paysan lobi dans la région de Bouna au Nord-Est de la Côte d'Ivoire

[Topographic position and lobi farmer in Bouna region in Côte d'Ivoire Nord-Estern]

Kambire Sambi

Maître-assistant, Laboratoire d'Etudes et de recherches sur les Milieux Naturels Tropicaux (LAMINAT), Université Peleforo Gon Coulibaly, 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: Each society has its own way of relating, appropriating and using the natural environment. This study falls within context of the problem of management and research for a balance between the natural environment and peasant logic specific to agrarian societies in their relations with the environment. The study is based on integrated analysis of natural environment using analysis of HAUTS-MONTS INC-CIV aerial images, at the scale of 1: 50000, and Copenicus Maxar-technology 2020 scene. We can therefore seek to know how - from the anthropic which is observed through the analysis of agrarian landscape and agricultural occupation of the ground - the rural geographical space of the Lobi can be determined by natural constraints, their rationalities internal and their ideologies ?

The objective is to situate functioning of geosystems at the scale of landscape segments, where all the ideas of agricultural development and the challenges of sustainable development are expressed. The study starts from hypothesis of agricultural use of the slopes where lateral (colluvial) dynamics are exerted, consequences of thicker soils that are easier to work. Results indicate that among Lobi farmers, subsistence and market strategies dominated by the preponderance of early yam, *Dioscorea cayenensis*. Dry cereals come next. It was therefore necessary to use, in an optimal way, land resources used as best as possible for these essential foodstuffs: ferrallitic and ferruginous soils more or less sandy in slope position, easy to work and suitable for all the cultivated crops. We then retain the adaptability to soils of agricultural techniques and intervention of religious ideologies. These establish on the slopes the environments likely, by the pedological conditions offered, to accommodate all the crops in a single block and thus meet certain mythical requirements.

KEYWORDS: Topographic position, landscape, farmer, North-Estern, Côte d'Ivoire.

RESUME: Chaque société a son propre mode de relation, d'appropriation et d'utilisation du cadre naturel. Cette étude s'inscrit dans un contexte de problème de gestion et de recherche d'équilibre du milieu naturel avec les logiques paysannes propres aux sociétés agraires dans leurs relations avec le milieu. L'étude est fondée sur l'analyse intégrée du milieu naturel grâce aux techniques de photo-interprétation des clichés aériens HAUTS-MONTS INC-CIV à l'échelle du 1: 50000 et de télédétection de la scène Copenicus Maxar-technology 2020. On cherche, ici, à savoir comment – à partir de l'anthropique qui s'observe à travers l'analyse du paysage agricole et de l'occupation agricole du sol – l'espace géographique rural des Lobi peut être déterminé par des contraintes naturelles, leurs rationalités internes et leurs idéologies ?

L'objectif est de situer le fonctionnement des géosystèmes à l'échelle des segments de paysage, où s'expriment toutes les velléités d'aménagement agricole et les enjeux du développement durable. L'étude part de l'hypothèse d'une utilisation agricole des versants où s'exercent des dynamiques latérales (colluviales), conséquences de sols plus épais et faciles à travailler. Les résultats indiquent que chez les paysans lobi, prédominent des stratégies de subsistance et marchande marquées par la prééminence de l'igname précoce, *Dioscorea cayenensis*. Les céréales sèches viennent ensuite. Il a donc fallu valoriser, de façon optimale, les ressources foncières utilisées au mieux pour ces denrées indispensables: les sols ferrallitiques et ferrugineux plus ou moins arénacés en position de versant, faciles à travailler et aptes à toutes les cultures valorisées. On retient ensuite

l'adaptabilité aux sols des techniques agricoles et l'intervention des idéologies religieuses. Celles-ci font des versants les milieux susceptibles, de par les conditions pédologiques offertes, d'accueillir toutes les cultures en un seul bloc et de satisfaire, ainsi, certaines exigences mythiques.

MOTS-CLEFS: Segment, paysage, paysan, Nord-Est, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Il est vrai, d'une certaine manière, que l'homme crée, façonne, transforme et aménage l'espace géographique. On peut aussi reconnaître que cet espace naît de la rencontre entre la nature et l'homme organisé en société, ou plus précisément « de la projection du système socioculturel sur le système écologique, d'une projection active qui le construit, conformément aux exigences du but à atteindre » (Isnard et al, 1978). Ainsi, les sociétés ne se développent pas dans l'indifférence à l'égard des contraintes naturelles et idéologiques. Chaque société a son propre mode de relation, d'appropriation et d'utilisation du cadre naturel déterminé, en partie, par l'une et l'autre de ces contraintes (S. Kambiré, 2015, p.41). C'est dans un contexte de problème de gestion et d'équilibre du milieu naturel avec les logiques paysannes propres aux sociétés agraires dans leurs relations avec le milieu que cette étude est effectuée.

Les interrelations qui s'établissent entre les hommes et les milieux physiques naturels qui les accueillent ont deux issues possibles: la pérennisation et le maintien des équilibres ou les dégradations irréversibles avec leur cortège de pénurie. Comme le dit G. Bertrand (2002), « c'est au travers du territoire, donc de la terre, que la nature devient une problématique sociale ». On cherche à savoir comment – à partir de l'anthropique qui s'observe à travers l'analyse du paysage agricole et de l'occupation agricole du sol – l'espace géographique rural des Lobi peut être déterminé par des contraintes naturelles, leurs rationalités internes et leurs idéologies ?

L'objectif de la recherche est de présenter le fonctionnement des géosystèmes naturels dans lesquels interviennent les sociétés rurales agraires lobi, situer ce fonctionnement à l'échelle locale, c'est-à-dire des segments de paysage, où s'expriment toutes les velléités d'aménagement agricole et les enjeux du développement durable.

L'étude repose sur le postulat d'une utilisation agricole des versants où s'exercent les processus colluviaux, conséquence d'un manteau de sols plus épais et faciles à travailler.

2 DONNÉES ET MÉTHODES

2.1 LE CADRE DE L'ÉTUDE

Les investigations s'inscrivent dans l'espace régional de Bouna. Il est situé dans le nord-est de la Côte d'Ivoire, entre 8°50' et 10° N et entre 2°50' et 4° W (figure 1). Dans une telle vaste région de 22091 km², on peut pratiquer des études dans le cadre d'espaces-témoins permettant de comprendre des systèmes que l'on observe. Il a été choisi les finages de Nyamoin et d'Assoum. Ces pays ruraux correspondent aux nuances des conditions d'ensemble qu'on puisse associer à la région de Bouna dont les milieux connaissent à peu de chose près les mêmes facteurs physiques naturels. Localisé entre 9°32' et 9°40' N et entre 3° et 3°31' W, le finage de Nyamoin repose largement sur substrat géologique birrimien. Il s'agit de bandes phylliteuses, de direction générale N-NE/S-SW alignées préférentiellement sur les cours d'eau et qui font par contrecoups des incursions dans le socle cristallin. Ces séries phylliteuses, des Eugéosynclinaux éburnéens de la Haute Comoé, sont constituées essentiellement de schiste sériciteux ou chloriteux interprété comme un flysch. Il en dérive des plateaux développés en glaciaire qui recouvrent des sols ferrallitiques typiques-modaux et ferrugineux indurés. Assez systématiquement disposés en bordure des flysch, des affleurements de roches vertes provoquent le jaillissement de collines et chaînons collinéens revêtus de sols bruns eutrophes tropicaux qui alternent avec des cuirasses sommitales ferrugineuses anciennes ou bauxitiques. Tandis que les buttes, dispersées en constellations dans le canevas des roches birrimiennes, sont chapeautées de sols lithiques sur cuirasse et carapace. Le secteur d'Assoum, dont les coordonnées sont 9° 8' et 9°15' N; 2°56' et 3°6'W, est situé au cœur du domaine granitique. Les sols issus des séries phylliteuses s'ouvrent largement sur les sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux sur matériau ferrallitique dans les plateaux, glaciaire et inselbergs développés sur l'environnement lithologique granitoïde (granites et roches apparentées). Ces roches sont héritées de l'orogénèse éburnéenne qui a affecté l'Afrique au Protérozoïque (S. Kambiré, 2015, p. 88). Le climat est dans l'ensemble du type tropical semi-aride (UNEP-GEF Volta Project, 2011, p. 21). Les totaux pluviométriques qui, dépassent à peine 1000 mm/an au début des années 2000 (D. Noufé, p. 180), atteignent aujourd'hui 1600 mm (SODEXAM, 2019, p. 2). Ce climat peut se faire sentir sous une nuance plus humide vers le sud de la

région. Les associations végétales comprennent des îlots de forêt dense, des galeries forestières et des savanes sur fond de climax à forêt claire (UNEP-GEF Volta Project, 2011, p. 21).

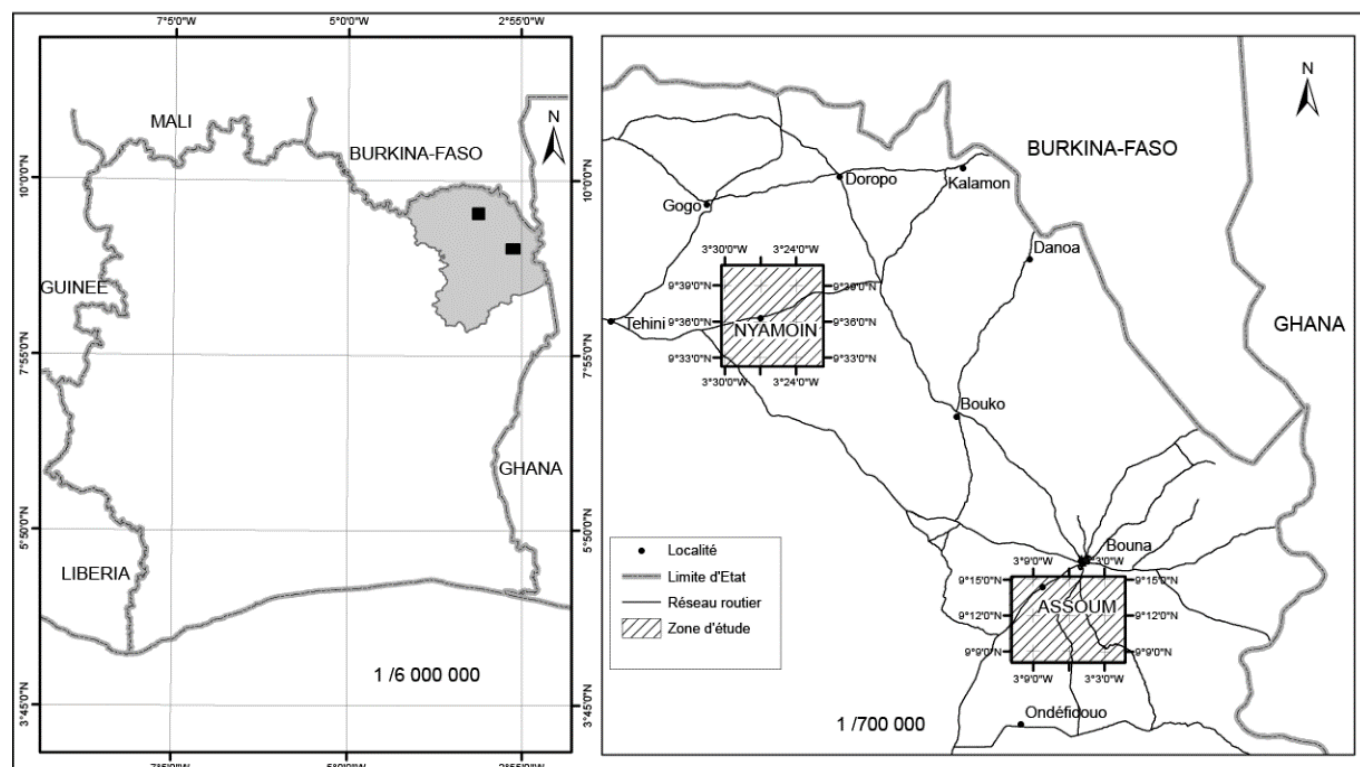


Fig. 1. La région de Bouna et la localisation des secteurs-témoins

Source: Institut National de la Statistique, 2014

2.2 DONNÉES ET TECHNIQUES DE COLLECTE

Les segments de paysage sont étudiés à partir l'interprétation des photographies aériennes HAUTS-MONTS INC-CIV-96 du 24 février 1996 à l'échelle du 1: 50000. Ces documents sont vieux, certes. Mais ils conservent assez longtemps les structures de la topographie.

Dans la mise en évidence des segments de paysage, il est indispensable de procéder à un découpage homogène, pertinent et exhaustif de l'espace topographique. Une première phase de cette démarche consiste à reconnaître dans l'espace topographique des limites simples, facilement repérables sur le terrain. Dans les régions de savane, la quasi-totalité de ces limites apparaissent sur photographie aérienne à l'échelle usuelle du 1: 50000. Ces limites se rangent en trois catégories. Les lignes de changement de sens de la pente correspondent aux talwegs et aux lignes de faîte. Les lignes de rupture de pente se caractérisent par une modification brutale de la valeur de la pente (limites de corniche, de base d'inselberg, de lits majeurs). Les lignes ou zones d'inflexion (dans la mesure où le changement s'établit dans un espace plus ou moins vaste) séparent deux pentes à « l'accélération » différente. Ces discontinuités évidentes déterminent les facettes topographiques. Ces facettes topographiques et leur contenu mésologique forment des segments de paysage, les trois grandes catégories mésologiques étant le sol, la surface du sol et la végétation. A ce niveau interviennent l'image satellite et le relevé méthodique de terrain. La télédétection appliquée sur l'image Landsat Copernicus Maxar-Technology 2020, permet de préciser les types d'occupation du sol. La classification supervisée par maximum de vraisemblance est appliquée sur Envi 4.3. Les cartes d'occupation du sol et des facettes topographiques sont par la suite exportées sur ArcGis 10.2.2, pour obtenir la planimétrie des surfaces d'occupation du sol et des « formes de terrain ». Le logiciel génère les aires suivant l'échelle des cartes. La fusion ultérieure des cartes est réalisée grâce à ce programme d'application. Cette opération permet de fournir les aires d'occupation du sol par type de facette topographique dans chaque secteur-témoin étudié. Le relevé de terrain a pour but de décélérer les classes de sol sur les facettes

topographiques. On aboutit ainsi à la cartographie intégrée du milieu naturel utile à comparer l'occupation paysanne du sol sur les différentes positions topographiques.

3 RÉSULTATS

3.1 LE SEGMENT DE PAYSAGE: MARQUEUR DE L'ESPACE GÉOGRAPHIQUE ET CRITÈRE DE DIFFÉRENCIATION DES ÉTENDUES TERRESTRES

La cohérence du paysage résulte de la capacité de son utilisateur à organiser ce qui est juxtaposé et/ou surimposé. Cela traduit une volonté de privilégier les relations des composantes naturelles et humaines par rapport à la structure sociale et aux logiques paysannes. Sans s'attendre à des révélations, l'analyse du paysage agraire lobi oblige à voir autant avec ses yeux qu'avec ses connaissances la « vérité cachée » à l'intérieur du paysage. Ici, l'habitat et ses caractéristiques écologiques sont définis par une maisonnée en position préférentielle de sommet relativement plan de plateau et faiblement convexes ou subaplanis de croupe et colline surbaissée dans la savane préforestière. Avant la conquête coloniale, la maisonnée correspondait à une famille étendue comprenant trois à quatre générations. Aujourd'hui, elle rassemble au moins une vingtaine d'individus vivant sous le même toit. Le chef de maisonnée contrôle toute la vie sociale du groupe (alliances, relations matrimoniales, etc.) et son économie (moisson, grenier, troupeau, etc.). La *Soukhala* familiale, souvent immense, est une maison-bloc protégée par une véranda dallée d'un mélange de terre et de paille battu dans laquelle le chef de maisonnée, ses femmes et ses petits-fils occupent une ou deux cellules d'habitation. Chaque pièce donne sur un vestibule auquel on accède par une porte et un trou ouvert sur la véranda. La maison-bloc, les cases satellites des chefs de ménage, l'autel de la divinité tutélaire et de fécondité de la terre, le parc à bétail et le grenier de mil et sorgho forment la nébuleuse d'habitat du groupe familial. Celle-ci est isolée au milieu de champs de case qui sont cultivés en auréoles concentriques autour du noyau central habité (photo 1). La première couronne de champ de case, large de 30 à 50 mètres, est cultivée en permanence en denrées nourricières: maïs, mil, sorgho et fonio sous parc à *Acacia albida*, *Vitalleria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Daniellia oliveri*, etc. Elle est engraisée par les détritiques ménagers et le fumier du troupeau à l'effet de renforcer la fertilité des sols illuviaux qui, en position de sommet relativement plan ou subaplanis de plateau, croupe et colline surbaissée, se prêtent déjà moins au ruissellement érosif et permettent de maintenir des rendements convenables. Au-delà, la deuxième couronne comprend des champs temporaires et de larges jachères herbeuses ou buissonnantes abandonnées, pendant la saison sèche, à la pâture du troupeau. Au-delà encore, c'est la brousse interstitielle puis le domaine cultivé de l'exploitation voisine. C'est que les Lobi forment une société acéphale et égalitaire où chaque individu est l'égal de l'autre, où aucune instance politique, juridique ou administrative ne gère la communauté villageoise ou « ethnique ». Cette communauté n'est presque exclusivement soudée que par un culte des ancêtres qui s'exprime dans le *dyoro*, rite initiatique.



Photo 1: Structure de l'espace agricole lobi sur supraèdre autour du noyau central habité

En haut à gauche, la soukhala lobi. A droite, les cases et le parc à bœufs satellites de la forteresse. En bas, au premier plan, la première couronne de champ de case récolté en céréales. Plus loin, la deuxième couronne de jachère puis la brousse interstitielle (photo KAMBIRE S).

Les champs de brousse temporaires sont ouverts d'un seul tenant pour chaque maisonnée dans la forêt voisine sur versants, à l'écart des aires résidentielles. A la différence des champs de case, qui voués à une exploitation permanente et exigent des sols à grande stabilité structurale offerte par une topographie relativement plane, les champs de brousse peuvent être cultivés sur versant et peuvent être déplacés si la terre est épuisée. Ils sont exploités en igname précoce, très déminéralisante pour le sol, et en céréales dans un système d'assolement et de culture itinérante. On comprend ainsi comment les groupes lobi s'organisent dans l'espace mais aussi comment l'espace organisé est une donnée essentielle dans et pour leur existence.

3.2 LE SEGMENT DE PAYSAGE ET L'OCCUPATION DU SOL

Les paysages humanisés couvrent, dans le secteur de Nyamoin, 16799 ha sur une superficie totale de 20527 ha, soit 81,8 % de l'espace étudié. A Assoum, ce sont 20986 ha qui supportent l'anthropique, soit 91,6 % des 22919 ha de surface de ce pays rural. Il se partage entre jachères remarquablement étendues (14109 ha à Nyamoin, soit 68,7 % du finage et 15024 ha à

Assoum, soit 65, 6 % de l'espace), champs et vergers (2843 ha, soit 13, 9 % du finage de Nyamoin et 4038 ha, soit 17, 6 % de celui d'Assoum).

Dans l'ensemble de ces secteurs, les rapports de surface entre les espaces humanisés et l'espace naturel est de 0,1 à 92. Le ratio varie selon le type de substratum géologique, le paysage élémentaire et le type de segment de paysage. Très fort sur versants, il signifie à la fois une mise en valeur préférentielle de ce type de segment et sa participation prépondérante à un système de cultures où la mise au repos des terres n'excède pas quatre à cinq ans.

Le terme « versant » est polysémique. Un versant est une « portion de surface topographique plus ou moins étendue » (R. Coque, 1977) ou « une portion d'espace topographique comprise entre deux talwegs » (J.-C. Filleron, 1995). C'est dans une troisième acception qu'on utilise le terme: un versant est une pente dominant le talweg d'une vallée. Trois types de versants peuvent être distingués d'un point de vue morphologique. En milieux de plateau, croupe et colline subaplanie, le versant correspond à une pente douce et rectiligne. Les pentes faibles mais toujours sensibles (1,5 à 5 %) sont situées à l'aval des inselbergs et sommets relativement plan de plateau, croupe et colline surbaissée. Ce type de facette correspond aussi aux formes topographiques nommées, en contexte d'inselberg, « pédiment », « glacis », « glacis-versant » ou « versant-glacis ». Un second type de facette de versant apparaît en intergrade et se situe toujours dans l'environnement des versants précédents. Il constitue, dans le versant, un replat d'extension latérale parfois très longue sur granites et se caractérise par une pente faible et rectiligne. Des processus de colluvionnement sur les versants précédents, résulte un manteau, de plus en plus épais vers le bas, de sol ferrallitique ou ferrugineux typique modal remanié et appauvri sur granites, typique remanié induré sur schistes. C'est sur ces deux types de segment que les ratios espace humanisé/espace naturel enregistrent leurs valeurs maxima. En profil transversal, une colline, un chaînon collinéen, un massif montagneux ou une barre rocheuse présente une charnière anticlinale ou une ligne de faite et une dépression périphérique ou un knick à la base, à partir desquelles le pendage ou l'inclinaison des matériaux parentaux change de sens. Les surfaces qui relient la charnière anticlinale très convexe ou la ligne de faite et le synclinal ou le knick déterminent des flancs dont la courbure dépend des variations du pendage des couches géologiques ou l'inclinaison du noyau rocheux central. La corniche identifie une facette de raccord, à la pente forte comprise entre 8 et 25 %, reliant deux facettes amont et aval. La corniche est ainsi située entre un sommet relativement plan de plateau ou colline surbaissée et un versant en pente douce et rectiligne, entre deux versants en pente douce et rectiligne, entre un versant en pente douce et rectiligne et une facette de bas-fond. Ces deux types de facette de versant (flanc et corniche), caractérisés par quelques passages subverticaux et surplombs, se positionnent au niveau intermédiaire entre les ratios espace humanisé/espace naturel les plus forts sur les versants des reliefs de plateau, croupe subaplanie et colline surbaissée, butte et les ratios moyens sur les sommets à pente peu marquée, parfois nulle, rectiligne ou faiblement convexe de ces formes élémentaires. Mis à part les larges affleurements de la cuirasse ferrugineuse sommitale dans les plateaux, croupes ou buttes cuirassées et de la roche parentale sur les inselbergs et massifs granitiques, dont les ratios sont très inférieurs à la moyenne, tous les sommets enregistrent des ratios espace humanisé/espace naturel élevés mais qui néanmoins s'écartent peu des valeurs centrales. Le reste des segments de paysage se partage entre les dépressions localisées à la périphérie de certains mornes rocheux, les petits bas-fonds colluviaux, les « flats » alluviaux et les alvéoles plus ou moins endoréiques. Dans le premier cas, la zone déprimée, qui cerne le noyau rocheux central, n'est jamais continue. Elle offre une forme en « croissant tronqué » ou en « corne » qui s'articule autour d'un talweg d'ordre I. Vers la tête du talweg, la dépression passe latéralement à un haut-versant ou à un sommet relativement plan. En aval vers la confluence, la base du croissant s'appuie sur un bas-fond colluvial drainé habituellement par un segment hydrographique d'ordre II ou III. Une facette de bas-fond se distingue par ses pentes fortes au profil rectiligne. Elle correspond aux entailles observées dans les régions d'inselberg ou dans certains secteurs cuirassés. Dans les fonds de vallées se distingue le paysage particulier des grandes plaines alluviales. Au façonnement des petits bas-fonds, que l'on situe au niveau du segment, collaborent des dynamiques transversales et latérales (alluviales et colluviales), ce qui subordonne la forme à l'interfluve immédiat. A l'opposé, les plaines alluviales hydromorphes, qui constituent un type de paysage, sont relativement indépendantes et traversent divers modelés sans en subir grande influence. Le modelé, aux pentes très faibles (0,1 à 1,5 %), offre plusieurs aspects: cuvettes de décantation argileuses, levées de berge alluviale, bourrelets alluviaux sableux qui sont des micro-modelés alluvionnaires; méandres morts et, rarement, terrasses alluviales caillouteuses.

Ce groupe de segments de basses terrasses et formes de terrain apparentées présentent des ratios très voisins qui ne dépassent guère 4 (tableau 1).

Tableau 1. Ratios espace « humanisé » / espace « naturel » dans les segments de paysage

Type de paysage	Type de segment de paysage et de micro-modélé	Ratio humanisé/naturel		
		Substrat		Ensemble
		granitique	birrimien	
Chaîne, chaînon, massif	Point sommital et ligne de faîte	0,1	0,1	0,1
	Sommet très convexe	7	6	1,2
	Flanc	14	12	13
	Knick	21	19	20
	Dépression périphérique	4,1	4	4,1
Croupe, plateau, colline surbaissée et butte	Sommet subaplani rectiligne ou faiblement convexe	41	38	39,5
	Corniche	22	19	20,4
	Replat	87	83	45
	Versant	93, 2	91	92,1
Bas-fond	Petit bas-fond	0,9	0,7	0,9
	Flat alluvial	4,4	4,1	4,3
	Entaille linéaire	0,3	0,2	0,2
Grandes vallées	Cuvette de décantation argileuse	0,7	0,5	0,6
	Levé de berge alluviale	0,5	0,3	0,4
	Bourrelet alluvial sableux	0,3	0,2	0,3
	Terrasse alluviale caillouteuse	0,2	0,1	0,2

Source: photographies aériennes Hauts-Monts 1996 et image Landsat Copernicus Maxar Technologies 2020

3.3 LES SOLS VUS PAR LES LOBI

Les Lobi différencient les sols d'après leur texture et leur couleur. Ils donnent des noms à ces sols en se basant sur leurs caractéristiques physiques et écologiques. L'aptitude culturelle des sols, chez ces peuples, est fonction de leur adaptation à la culture de l'igname et aux techniques culturelles (tableau 2).

A titre d'indication, des hypothèses de correspondance des sols vus par les Lobi ont pu être établies avec les dénominations scientifiques de ces sols.

Tableau 2. Les types édaphiques et leur aptitude cultural selon les Lobi

Type de paysage	Type de segment de paysage et de micro-modélé	Types de sol		Aptitude selon les Lobi
		Par les Lobi	Groupe génétique	
Chaîne, chaînon, massif et inselberg	Point sommital, ligne de faite et sommet très convexe sur granites	<i>Tin ner'bruko</i> sur granites; <i>Tin ner'l'taka</i> sur roches mélanocrates	tronqué lithique et minéral brut d'érosion sur granite et schiste; brun eutrophe et brun eutrophe ferruginisé sur roche verte	bonne mais difficile à butter pour l'igname, les cailloux gênent la culture.
	Flanc	<i>Tin'bruko</i>	rajeuni lithique et minéral brut d'érosion sur granite et schiste; brun eutrophe hydromorphe sur roche verte	
	Knick	<i>Tin nar'bruko</i>	peu évolué et/ou ferrugineux	
	Dépression périphérique	<i>L'taka</i>	hydromorphe pseudogley	bonne mais inondable
Croupe, plateau, colline surbaissée	Sommet à pente peu marquée, parfois nulle, rectiligne ou faiblement convexe	<i>Tāgba bur' gusāwa</i>	ferrallitique ou ferrugineux modal, ferrallitique ou ferrugineux appauvri ou remanié appauvri	moyenne mais souvent gravillon naire et cuirassé
	Corniche	<i>Pulebi tanar bruko</i>	typique modal et appauvri, rajeuni remaniée appauvrie sur granite; typique modal, rajeunie remanié sur schiste	médiocre
	Versant et replat	<i>Pulebi'butié</i>	ferrallitique ou ferrugineux modal, ferral. ou ferru. remanié modal, ferral. ou ferru. remanié appauvri et/ou induré	bonne pour l'igname et les céréales; facile à butter
	Bas-fond colluvial, « flat » alluvial et alvéole	<i>Mar'butié</i>	hydromorphe colluvial ou alluviale à pseudogley ou gley	bonne mais sols lourds au buttage et inondables
	Entaille linéaire	<i>L'taka</i>	hydromorphe à pseudogley	
Grandes vallées	Cuvette de décantation		hydromorphe à gley	
	Levé de berge alluviale	<i>Mar'butié</i>	hydromorphe minéral	
	Bourrelet alluvial sableux			
	Terrasse alluviale caillouteuse	<i>Mar'néro</i>	Hydromorphe alluvial	

Source: Enquête de terrain 2021

4 DISCUSSION

4.1 LE PAYSAGE AGRAIRE LOBI, REFLET DE LA SOCIÉTÉ SEGMENTAIRE ET DES RELATIONS DE L'HOMME AVEC LA STRUCTURE TOPOGRAPHIQUE

Dans la société segmentaire du type lobi, les signes d'autorité n'apparaissent qu'au niveau de la famille, du lignage ou segment de lignage. Ils sont détenus et exercés par le patriarche du groupe lignager. Ainsi, les groupes locaux lobi, tégéssié (ou lohron), birifor, etc. forment des ensembles humanisés dispersés en nébuleuses alignées, en position sommitale des paysages de la pénéplaine – plateau, croupes subaplanies, collines surbaissées – non loin des vallées à proximité d'un point d'eau. Ces groupes locaux répondent tous à un lieu-dit. J. M. Köhler (1971, p. 31) se refuse à parler, en pays lobi, de "village" qui implique une organisation socio-politique commune à tous les habitants d'une même localité. Il lui substitue le terme de groupe local qui correspond à un rassemblement de maisonnées en un même lieu au sein duquel aucune autorité ne vient coordonner les actions. La pacification coloniale, tout au long de la première moitié du XX^e siècle, a pour effet principal de disloquer les grandes maisonnées lobi, de les faire fuir et d'anéantir les seules autorités reconnues dans cette société: celle du chef de famille. Mais A. Hauhouot, K. Atta et A. Koby A. (1983, p. 5) puis S. Kambiré (2015, p. 28) relativisent: il faut atteindre la pointe sud de la sous-préfecture de Bouna, dans une zone de colonisation lobi récente, la zone Kolodio-Binéda (ZKB), « pour entrer véritablement dans l'aire des gros villages » sous la forme d'habitat groupé. Cette zone et ses gros villages ont été mis en place

en 1969, par l'Etat ivoirien, pour bloquer un mouvement migratoire lent et continu des Lobi de la Haute-Volta vers le sud de la Côte d'Ivoire. L'organisation du terroir reflète assez bien la structure sociale lobi et les nouvelles orientations adoptées par les populations lobi. Autour de chaque ferme se développe, par cercles concentriques, un petit terroir aménagé tandis que dans les forêts voisines de vastes clairières préforestières sont ouvertes pour les champs temporaires. L'auréole des cultures permanentes encerclant les localités s'est en général pérennisée mais agrandie avec l'introduction récente de l'agriculture chimique (engrais chimiques, herbicides, pesticides) et le retour des cultures de rente (coton, tabac) abandonnées à la fin du Projet de Développement intégré des Savanes du Nord-Est au début des années quatre-vingt-dix. Cette auréole, autrefois développée en un seul tenant appartenant à tous les membres d'une même famille, est maintenant fractionnée en autant de parcelles (d'inégales dimensions) que de ménages. Les champs de brousse temporaires sont ouverts en un seul bloc divisé en soles sur les sommets plans ou faiblement convexes et les versants des plateaux arénacés ou altéritiques, croupes et collines surbaissées peu gravillonnaires ainsi que les glacis à l'aval des formes les plus redressées. Les soles cultivées en igname la première année s'intercalent dans des rotations maïs-mil, maïs-sorgho puis mil-sorgho jusqu'à ce que les rendements déclinent tandis que l'igname précoce, *Dioscorea cayenensis*, est déplacée sur un front pionnier. C'est que, en raison de la pauvreté naturelle des sols et leur épuisement, l'igname donne de faibles rendements. Aussi, est-elle réservée aux terres les plus riches et remplacée ailleurs par une sole de sorgho associé au maïs, plus exigeants que le mil. Ces champs de brousse sont généralement ouverts par un segment lignager. Toutes les terres sont cultivées en commun et les moissons serrées dans des greniers communautaires familiaux. Mais de plus en plus, la parcelle, vaste de plusieurs dizaines d'ha, est divisée en autant de lots que la famille étendue comprend des cellules économiques (les ménages). Dans un cas comme dans l'autre cependant, aucun membre de la famille ne peut posséder en propre un bien qui ne lui ait été cédé par le chef de famille. Dans les zones encore peu ou moyennement peuplées (moins de 20 hab./km²), les petites exploitations sont dispersées en ordre très lâche, entourées de leur couronne de champs permanents ou semi-permanents. Dans les régions à densité de peuplement moyenne (20 à 40 hab./km²) ou forte (plus de 40 hab./km²), les fermes, pour économiser les terres arables, se sont le plus souvent regroupées sur des sites hostiles (buttes rocailleuses, cuirasses affleurantes, piton rocheux) dominant le plancher hydrographique. Dans ces conditions, les champs permanents sont éliminés ou installés à quelques distances des zones habitées le long des ruisseaux sur les sols alluviaux et colluviaux. Chacun d'eux est fractionné en parcelles de petites dimensions délimitées par un liséré d'herbes, une levée de terre ou un fossé de drainage. Elles sont travaillées, chacune par un ménage. Dans les gros villages à structure compacte, à une organisation de l'espace, autrefois limitée, mais structurée et concentrée sur des domaines correspondant aux besoins des grandes maisonnées, a succédé un système beaucoup plus lâche et inorganisé: les champs et l'habitat, éparpillés en grandes unités, sont le reflet de l'éclatement des structures sociales mais aussi l'adaptation des populations à tirer le meilleur parti du milieu naturel. Si la gestion des terres est adaptée aux conditions nouvelles: chaque ménage devenu indépendant n'est pas isolé dans le groupe. L'individu peut compter sur la solidarité de sa classe d'âge, la main d'œuvre familiale abondante, l'entraide des amis et le travail en commun.

Les champs de brousse, couvrant souvent plus d'une dizaine d'hectares, sont dispersés dans les savanes préforestières voisines distantes de plusieurs kilomètres que l'on ne peut facilement atteindre qu'à bicyclette ou à motocycle. Ici, comme dans les petites localités, le substrat sollicité correspond aux sommets plans arénacés ou faiblement convexes altéritiques et peu gravillonnaires de plateau, croupe, colline surbaissée et surtout les versant qui les limitent ainsi que les glacis adossées aux formes les plus redressées de collines, massifs et chaînons collinéens. Dans ce système de culture les sommets très convexes ou les lignes de faite dans les paysages redressés et les vallées (bas-fond colluvial, flat alluvial, alvéole, entaille linéaire et plaine alluviale) sont très peu utilisés.

On pourrait penser que certaines inadaptations structurelles du système agricole résultent de conditions écologiques auxquelles celui-ci ne s'est pas encore adapté. On pourrait aussi considérer l'anthropisation des structures topographiques non comme la conséquence, mais comme un élément du système cultural dans lequel l'igname est conduite en culture itinérante et en assolement avec des céréales sur substrat spécial: le versant.

4.2 DISCRIMINATION PAYSANNE DES SEGMENTS DE PAYSAGE: LE RÔLE DU SYSTÈME ÉCOLOGIQUE

Les aptitudes des sols définis physiquement par les Lobi le sont, les résultats le montrent ci-haut, par rapport à leur adaptation à la culture de l'igname et aux techniques agricoles. En combinant les deux groupes d'éléments, topographie, texture et structure des sols dépendant du substrat d'une part, la connaissance du milieu par les sociétés qui l'exploitent et les logiques paysannes d'autre part, les possibilités offertes sont en nombre restreint mais elles sont reconnues par les paysans sur le terrain. Le rappel des processus d'élaboration des sols en préalable à leur influence sur la répartition des activités agricoles sur la topographie est destiné à mieux comprendre les relations de l'homme avec la nature dans le pays lobi.

Dès qu'un certain type de facette apparaît dans la topographie, il tend à modifier les processus morphogéniques et en même temps à diversifier les sols. Ainsi, sur les sommets, notamment de forme relativement plane ou subaplanie de plateau,

croupe et colline surbaissée, les processus illuviaux l'emportent dans la mesure où l'érosion y est peu visible et les sols se développent plus profondément ou subsistent de périodes antérieures. G. Rougerie (1964) estime qu'« ils pourraient être tenus pour les plus représentatifs du types d'altération lié aux données climatiques locales, mais ils correspondent souvent à la somme des paléo-pédogénèses ». Sur les versants (versant de plateau, croupe et colline surbaissée, glacis, glacis-versant, versant-glacis et le replat), prédominent les processus d'érosion et les sols sont parfois tronqués par le haut, ne serait-ce que par simple reptation ou colluvionnement: le résultat est souvent une pédogénèse inachevée. On dira plutôt un perpétuel recommencement sans que les conditions climatiques ne subissent un changement. Dans les vallées (bas-fond, flat alluvial, alvéole, dépression périphérique et plaine alluviale), les actions mécaniques viennent se superposer aux actions physico-chimiques, tandis qu'un facteur devient déterminant dans l'évolution des sols: la présence de l'eau (J. M. Avenard, 1971).

Des processus d'érosion et de colluvionnement sur les versants précédents, résulte un manteau de sols ferrallitiques – typiques modaux remaniés et appauvris sur granite, typiques remaniés indurés sur schiste – de plus en plus épais du sommet au bas du versant. Mais la proportion de ces sols ferrallitiques par rapport aux sols ferrugineux sur matériau ferrallitique est beaucoup plus faible. A. Dabin, N. le Neuf et J. Riou (1960) attestent que la culture des plantes vivrières et du coton sur les sols ferrallitiques typiques est très possible, bien que la pluviométrie annuelle diminue. Mais celle-ci est concentrée en une seule saison des pluies et suffit au développement des plantes. Issus de granites, les sols ferrallitiques sont les plus cultivées du nord-est de la Côte d'Ivoire. Et précisent A. Dabin, N. le Neuf et J. Riou: par contre la mise en culture des sols ferrugineux sableux est beaucoup plus difficile et en dehors des dangers d'érosion et de carapacement, les sols ont besoin d'apports d'engrais importants. D'un point de vue agronomique, ces sols ferrallitiques ou ferrugineux typiques modaux, remaniés et appauvris issus essentiellement de granites sont meubles, relativement profonds, assez argileux et bien drainés sur versant. Ces caractères en font les types édaphiques très recherchés pour la culture de l'igname et donc les plus cultivés. En effet, dans la production agricole lobi, destinée à la fois à couvrir les besoins alimentaires familiaux et à assurer des excédents commercialisables, l'igname précoce (*Dioscorea cayenensis*), l'emporte largement. S. Kambiré (2015, p. 243) montre que les Lobi réalisent, dans le tubercule, 94 % des ventes à l'échelle du Nord-Est. Et poursuit Kambiré: « de même, c'est chez eux que ce produit a le plus d'importance dans le total des rentrées monétaires (54 %) ». Les céréales sèches (mil, sorgho, fonio, maïs et haricot) viennent ensuite. Il a donc fallu valoriser de façon optimale les ressources foncières utilisées au mieux pour ces cultures: les sols typiques modaux remaniés et appauvris de texture sablo-argileuse issus de granites ou plus argileuse d'origine schisteuse sur versants dominant. « Leur potentiel de fertilité est directement lié à la teneur en argile des horizons supérieurs, les propriétés chimiques sont moyennes » (A. Perraud, 1971, p. 386). Mais bien plus que la fertilité naturelle de ces sols due à l'argile, c'est leurs propriétés physiques qui les concilient avec les paysans principalement cultivateurs d'igname: la texture sablo-argileuse les soustrait, d'abord, au durcissement toute l'année et aux variations brusques de température si le manteau sableux est épais et si le couvert ligneux est important; elle les rend, ensuite, faciles au buttage à la houe et au drainage. L'exemple des sols argileux et/ou lithiques - plus ou moins profonds à bonne capacité de rétention en eau mais peu utilisés, sur les sommets très convexes, lignes de faite et flanc de colline en roches vertes, chaînons et croupes altéritiques en roches schisteuses - est assez révélateur. Ce sont, soit des sols ferrallitiques remaniés ou typiques non indurés et le plus souvent rajeunis, soit des sols bruns modaux ou hydromorphes sur roches basiques. Ces sols, lorsque la topographie le permet, sont favorables à l'arboriculture (*Anacardium occidentale*) et à la culture des céréales les plus exigeantes en eau (maïs, sorgho). Ils offrent également des possibilités de culture en igname et en mil moins exigeants en teneur en eau. Mais on préfère les cultiver sur les sables peu argileux qui se prêtent moins au durcissement saisonnier et mieux au buttage pour le tubercule. Le principal facteur limitant qui joue dans l'aversion des paysans pour les sols en position de sommet très convexe, ligne de faite et flanc dans les collines sur roche basique, A. Perraud (1971, p. 386) l'a bien noté, est l'alimentation en eau des plantes. Ces sols présentent un point de flétrissement élevé. D'autre part, ils sont caillouteux, collants à la houe, lourds à butter pour l'igname et donnent des fentes de retrait importantes en se desséchant, qui gênent le développement des racines.

L'importance de l'igname, qui destine la paysannerie lobi sur les versants plus ou moins arénacés, dans les circuits commerciaux est un phénomène relativement récent. Cette culture occupait autrefois, une place secondaire dans les systèmes de production lobi. Dans les années Vingt, Labouret (1931), ne classe le tubercule qu'au huitième rang des plantes cultivées et constate sur les marchés sa place réduite, signe d'une commercialisation faible. Les denrées valorisées, prisées et nourricières pour les Lobi, sont les produits sacrés dits "amers". Ce sont le sorgho, le mil et le haricot blanc qui ne peuvent être vendus que par les chefs de maisonnée qui ont « gagné la daba », c'est-à-dire qui ont été émancipés par leur père (ou leur oncle) et qui ont reçu de lui la houe symbolique (la "daba"), après l'observance de rites appropriés. Au contraire, rattachée à la catégorie des produits "froids", traditionnellement peu consommée et ne faisant l'objet d'aucun interdit susceptible d'entraver sa vente, l'igname a pu devenir la première culture marchande lobi. Ainsi, le dynamisme agricole régional repose principalement sur les sols typiques modaux remaniés et appauvris surtout sur granites, en position de versant, rarement de vallée.

Les sols typiques modaux remaniés et appauvris de texture sablo-argileuse ou argilo-sableuse sont également présents sur les sommets d'interfluve et uniquement les segments relativement plans, et faiblement convexes dans les plateaux, croupes

et collines surbaissées. Mais, quand ils sont très sableux, la mise en culture des sols « est difficile et en dehors des dangers d'érosion et d'induration en carapace et cuirasse, les sols ont besoin d'apport d'engrais important » (A. Perraud, op. cit.). L'induration résulte de la cristallisation des oxydes métalliques liée à la durée de la saison sèche. De même les éléments grossiers des sommets cuirassés en milieu de croupes gravillonnaires (faciès gravillonnaire bien représenté) sont considérés comme inaptes à toute culture. Ces contraintes limitent considérablement la mise en culture de ces types de segment sommitaux.

Sur les corniches, reliant généralement un large affleurement de la cuirasse ferrugineuse (bowal) à un glaciaire, l'érosion croissante peut donner des sols gravillonnaires par disparition totale de la cuirasse et son démantèlement sous forme de gravillons par érosion régressive. Mais le plus souvent, l'exploitation de zones de faiblesse dans la masse de la cuirasse (fissures, fentes de retrait, cassures, etc.) par l'érosion entraîne le déchaussement de la cuirasse (S. Kambiré, 2020, p.17). Celle-ci, en s'effondrant par ruptures de gravité successives, découvre la terre meuble sous-jacente. Cette terre est le plus souvent typique modale, rajeunie remaniée, profonde et argileuse sur schiste, typique modale et appauvrie, rajeunie remaniée appauvrie sur granite. Elle favorise la culture du mil, du sorgho, du haricot et du maïs, sauf en cas de sécheresse. Elle est aussi propice à l'installation l'anacardier (*Anacardium occidentale*). Elle se prête également à la culture de l'igname, mais elle est collante à la houe et trop lourde à butter. Par ailleurs les sols, mis à nu après défrichement, sont très pénalisés par l'érosion.

Les obstacles de même nature, mais d'un niveau d'intensité plus prononcé, existent à l'utilisation agricole des sols dans les plaines alluviales, bas-fonds colluviaux, flats alluviaux, alvéoles plus ou moins endoréiques, dépressions à la périphérie des mornes rocheux et entailles linéaires. Dans les types de segment de petite vallée précédents, les sols sont du type hydromorphe minéral, colluvial ou alluvial, à pseudo-gley ou gley. « Ce sont des sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau par suite d'un engorgement temporaire, de surface, de profondeur ou d'ensemble ou par suite de la présence ou de la remontée d'une nappe phréatique » (G. Aubert, 1966). Dans les grandes vallées (plaines alluviales), les sols sont comparables. Au fond des basses terrasses inondables, le sol est argileux à pseudogley sur un horizon à gley. Dans les cuvettes de décantation argileuses, le sol, à texture plus équilibrée, est un sol peu évolué d'apport hydromorphe argilo-limono-sableux. Sur levées de berge alluviale et bourrelets alluviaux sableux, le sol, peu évolué d'apport hydromorphe, a une texture sableuse et présente souvent des phénomènes de concrétionnement et d'induration à moyenne profondeur. Sur terrasses alluviales caillouteuses, les sols de texture sablo-argileuse à pseudogley ou sableuse grossière, sur 1 mètre en moyenne, comportent assez fréquemment des cailloux et graviers de quartz qui reposent souvent sur un horizon gleyifié. Dans cette couche, circule la nappe phréatique durant une bonne partie de l'année. A. Perraud (1971, p. 387), à la suite de B. Dabin, N. Leneuf et G. Riou (1960, p. 21-22), note à propos de ces sols de petite vallée (bas-fonds colluviaux, flats alluviaux, alvéoles, dépressions périphériques et entailles linéaires) et des grandes vallées (plaines alluviales), ainsi décrits, que leurs caractères de fertilité, dus à des propriétés chimiques moyennes, sont bons. Certains Lobi reconnaissent, à ces sols, ces caractères de fertilité bons, surtout sur substrat granitique. Ils font observer que l'igname précoce, *Dioscorea cayenensis* et les céréales (mil, sorgho, maïs, arachide, etc.) trouvent dans ces sols, les conditions des plus favorables d'épanouissement. Mais ils leur reprochent d'être inondés une bonne partie de l'année, notamment en saison humide, d'être vite soumis à l'enherbement et d'être rapidement secs en saison sèche. Aussi, les plaines alluviales et les bas-fonds sont-ils habituellement réservés au pâturage. Ces facteurs physiques limitants se doublent d'un frein idéologique dans la mise à l'écart des bas-fonds dans le système de production lobi. Pour les Lobi, les versants facilitent, par leurs envergures, les cultures regroupées en un même bloc sur une seule parcelle, donnée incontournable dans le système de culture chez ces peuples. Cela a, d'abord, l'avantage de permettre au cultivateur de pouvoir s'occuper de plusieurs parcelles, réunies en un bloc cultural, la même journée de travail selon les besoins. Mais aussi et surtout, cela répond à une exigence religieuse capitale en pays lobi: le champ s'habitue à l'homme et produit beaucoup s'il lui rend tout le temps visite. De ce point de vue, les bas-fonds sont disqualifiés. Ils n'autorisent, en effet, qu'une gamme limitée de cultures du fait de l'hydromorphie. Ce sont le riz, le maïs mais surtout pas l'igname et le mil sur schistes pour la plupart des exploitants agricoles. Ainsi, le paysan qui s'aventure dans le bas-fond est obligé de cultiver en même temps sur versant ces produits indispensables. Ce qui représente un goulot d'étranglement pour le du travail.

5 CONCLUSION

Les paysans lobi utilisent les segments de paysage en fonction de l'exigence des cultures vivrières, en particulier l'igname précoce, *Dioscorea cayenensis*. Sur versant (versant de plateau, croupe et colline surbaissée, glacis, glacis-versant, versant-glacis et replat), les sols sont ferrallitiques typiques modaux remaniés et appauvris sur granites, typiques remaniés indurés sur schistes. La texture sableuse les soustrait au durcissement toute l'année et aux variations de température si le manteau sableux est épais et si le couvert ligneux est important. Elle favorise la culture de l'igname car elle est facile au buttage pour le tubercule. Elle est aussi favorable à la culture du mil, dans des bonnes conditions de pluviométrie et à celle du maïs, du sorgho et du haricot, si la teneur en argile est plus élevée. Aussi ces sols enregistrent-ils les ratios espace humanisé/espace naturel les plus

élevés. Les autres segments de paysage: les sommets très convexes ou lignes de faite dans les massifs et formes collinéennes, les micro-reliefs dans les plaines alluviales et les bas-fonds sont évités par la paysannerie lobi parce qu'ils offrent des sols hydromorphes à pseudogley ou gley peu adaptés au système de culture local. On retient donc l'adaptabilité aux sols du système de production comme facteur de différenciation des étendues terrestres. Mais les pesanteurs idéologiques sont déterminantes. On ne cultive presque pas les bas-fonds parce qu'ils n'autorisent qu'une gamme limitée de cultures du fait de l'hydromorphie: le maïs, mais surtout pas le mil et l'igname. Ce qui est de nature à mettre à mal l'harmonie entre l'homme et la terre si le paysan, partagé entre ces cultures en bas-fonds et sur versant ne rend pas tout le temps visite à ses champs.

REFERENCES

- [1] Avenard Jean Michel, Aspects de la géomorphologie, In *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Mémoire ORSTOM n°50, Paris, p. 9-72.
- [2] Bertrand Georges, 1978, Le paysage entre la nature et la société. *Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud-ouest*, Toulouse, t.49, vol. 2, p. 239-258.
- [3] Bertrand Georges, 2002, Une géographie traversière. L'environnement à travers territoires et temporalités, Paris, Arguments, Coll. Parcours, 311 p.
- [4] Dabin Bernard, Leneuf Noël, Riou Gérard, 1960, carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/ 2 000 000-Notice explicative, ORSTOM-Paris, 36 p.
- [5] Filleron Jean-Charles, 1995, Essai de géographie systématique: les paysages du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, Tome I, Thèse d'Etat, 668 p.
- [6] Hauhouot Asseypo, Atta Koffi et Koby Assa, 1983, *De la savane à la forêt. Etude des migrations des populations du Centre-Bandama*. Mémoires et Documents de l'I.G.T., p. 8-24.
- [7] Isnard Hildebert, Racine Jean-Bernard, Reymond Henri, 1981, *Problématiques de la géographie*. Paris, Puf, 262 p.
- [8] Kambiré Samb, 2015, Dynamiques, mutations spatiales et problèmes de sédentarité en pays Lobi (Nord-est ivoirien). Approche spatiale par l'analyse et la cartographie des paysages; Thèse unique, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 341 p.
- [9] Kambiré Samb, 2020, Processus morphogénétiques et dynamique des géosystèmes tropicaux de savane. L'exemple de la région de Bouna en Côte d'Ivoire Nord-Orientale, In revue DYSPADEV n° 016 nov., p. 90-114.
- [10] Kohler Jean-Marie, 1971, Activités agricoles et changements sociaux dans l'Ouest-Mossi (Haute-Volta), Paris, Mémoire Orstom n° 46, 248 p.
- [11] Noufé Dabissi, 2011, Changements hydroclimatiques et transformations de l'agriculture: l'exemple des paysanneries de l'Est de la Côte d'Ivoire, Thèse unique, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 375 p.
- [12] Perraud Alain, 1971, « Les sols ». In: *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, ORSTOM Paris, p. 267-393.
- [13] Rougerie Georges, 1964-1967, *La Côte d'Ivoire*. Coll. Que sais-je ? n° 1137. P.U.F., Paris, 128 p.
- [14] Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM), 2019, *Attestation climatique*, SODEXAM, Abidjan, 22 p.

Système technique de production du « bili-bili », bière traditionnelle de sorgho: Variabilité territoriale des pratiques et perspectives de valorisation

[Technical production system of « bili-bili », a traditional sorghum beer: Territorial variability of practices and valorization perspectives]

Touwang Charles¹, Nso Emmanuel Jong², and Robert Ndjouenkeu²

¹Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), Université de Maroua, B.P. 46, Maroua, Cameroon

²Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles (ENSAI), Université de Ngaoundéré, B.P. 455, Ngaoundéré, 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 diagnosis of the technical production system of « bili-bili », a fermented drink made from sorghum, in the consumption space of the of Northern Cameroon savannah, was conducted by a survey in 365 production structures distributed in the cities of Maroua, Garoua and Ngaoundéré, with the aim of defining both the constraints of local practices and the innovations needs. The study shows that « bili-bili » production is an exclusively female and ethnic activity, carried mainly by the Toupouri (34%), Moundang (29%) and Laka (21%) tribes. The organized or spontaneous migrations of these tribes to the fertile lands of Adamawa have led to a diffusion of the technical production practices of the drink in a north-south trajectory with territorial adaptations of the process and related tools. Four variants of the production process have been identified with innovation needs that converge mainly on the need for optimization and control of the main unit operations involved.

KEYWORDS: bili-bili, technical production system, technical trajectory, quality innovation.

RESUME: Le diagnostic du système technique de production du « bili-bili », boisson fermentée à base de sorgho, dans l'espace de consommation des savanes du Nord Cameroun a été mené par une enquête dans 365 structures de production réparties dans les villes de Maroua, Garoua et Ngaoundéré, dans le but, à la fois, de comprendre les déterminants techniques du système, d'en définir les contraintes par rapport à la qualité des produits et les besoins potentiels en innovations. L'étude montre que la production du « bili-bili » est une activité exclusivement féminine et ethnique, portée principalement par les tribus Toupouri (34%), Moundang (29%) et Laka (21%). Les migrations organisées ou spontanées de ces tribus vers les terres fertiles de l'Adamaoua ont induit une diffusion des pratiques techniques de production de la boisson dans une trajectoire nord sud avec des adaptations territoriales du procédé et des outils, ainsi qu'une variabilité de la qualité du produit portée par les adaptations techniques. Quatre variantes du procédé de production ont à cet effet été identifiées, avec des besoins en innovation qui convergent principalement vers la nécessité de l'optimisation et de la maîtrise des principales opérations unitaires impliquées dans les pratiques techniques.

MOTS-CLEFS: bili-bili, système technique, trajectoire technique, qualité, innovation.

1 INTRODUCTION

La production de boissons fermentées constitue une des principales composantes de l'artisanat alimentaires des savanes d'Afrique Centrale (Cerdan et al., 2004). Ces boissons intègrent le groupe des bières locales, et prennent l'appellation « bili-bili » lorsqu'elles sont obtenues à partir des céréales (sorgho, maïs). Cette boisson fait partie du patrimoine culturel des populations non islamisées des savanes d'Afrique Centrale. Considérées dans les années 1930 par l'administrateur colonial comme refuge naturel des « mauvais garçons », les structures de production de « bili-bili » sont aujourd'hui source de revenus non négligeables où se côtoient les individus de différentes classes sociales.

Sur le plan technologique, le système de production du « bili-bili », au même titre que tous les systèmes techniques artisanaux, se caractérise par une diversité des pratiques de production, avec des rendements relativement faibles, et une forte variabilité de la qualité des produits (Djanan *et al.*, 2003). Par ailleurs le système de production souffre d'une image non hygiénique, en raison des conditions environnementales dans lesquelles est fabriquée la boisson. Pourtant son implantation significative dans les habitudes alimentaires et dans l'espace de consommation des villes du Nord Cameroun et du bassin du Lac Tchad, font de la production de cette boisson une des principales formes de transformation du sorgho de la région, en concurrence avec la forme alimentaire directe de la céréale.

L'amélioration de l'image sociale du « bili-bili » apparaît dès lors comme une des conditionnalités de son émergence économique. Raison pour laquelle la présente étude vise à analyser les contraintes et les potentialités du système de production du « bili-bili » dans les savanes du Nord Cameroun. Le problème posé ici est le besoin de connaître et de comprendre le mode de fonctionnement du système de production, les procédés technologiques impliqués, et la perception de la qualité du produit, dans le but de définir quelles innovations peuvent être introduites.

2 MÉTHODE D'ETUDE

2.1 CADRAGE GÉOGRAPHIQUE DE L'ÉTUDE

La réponse au questionnement ci-dessus s'est appuyée sur une enquête auprès des structures de production du « bili-bili » dans les principaux centres urbains des savanes du Nord Cameroun (Garoua, Maroua, Ngaoundéré) (Figure. 1). Ces villes ont été choisies sur la base de leur densité en ateliers de production du « bili-bili ». Par ailleurs, les populations de ces villes, de par leurs origines sociales et culturelles, sont représentatives de l'ensemble des populations des savanes d'Afrique Centrale. Dans chaque ville, l'intérêt a été porté sur les quartiers à forte intensité de production de la boisson (Seignobos, 2002). La sélection des ateliers de production à enquêter s'est faite par échantillonnage aléatoire systématique (Vaillant, 2005). 365 ateliers de production ont été visités dont 145 à Ngaoundéré, 120 à Garoua et 100 à Maroua.

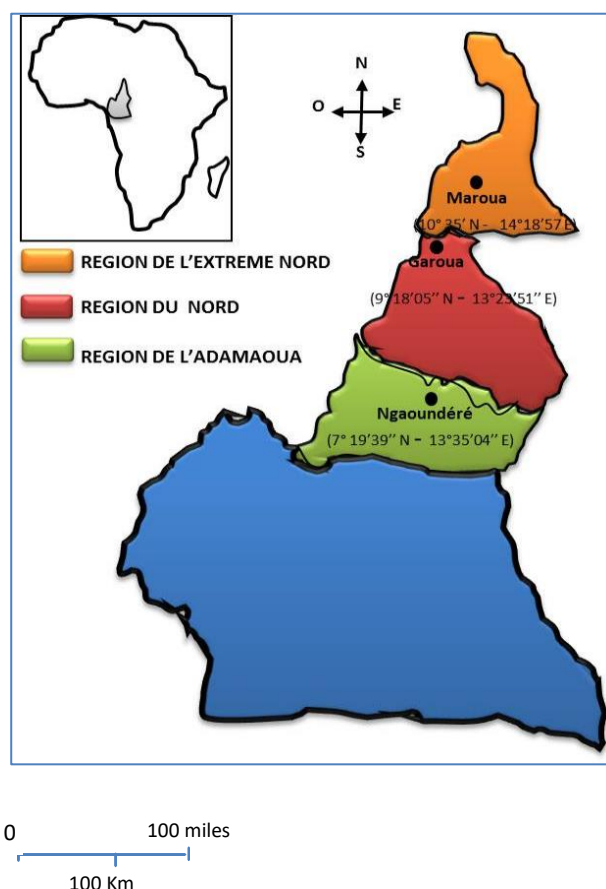


Fig. 1. Cadrage géographique de l'étude

2.2 DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE

L'enquête a été conduite sous forme de visite des ateliers et d'entretien ouvert avec les opérateurs sur 4 éléments principaux, définis en raison de leur impact discriminant sur le système technique de production et la qualité du produit: (i) les producteurs (origine géo culturelle, âge, sexe, niveau d'instruction), (ii) l'organisation de la production (outils, organisation du travail, fréquences de production, contraintes), (iii) les procédés de production et, (iv) la perception de la qualité du produit à la production.

Les entretiens ont été menés sur une base conversationnelle avec les producteurs, dans leurs unités respectives de production et dans l'exercice de leur activité. Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Sphynx plus²- édition lexic-V5.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 LA PRODUCTION DE « BILI-BILI »: UNE ACTIVITÉ EXCLUSIVEMENT FÉMININE

La production du « bili-bili » est une activité artisanale en totalité réservée au sexe féminin, et intégrant des femmes mariées (75% des actrices) et des femmes seules (25%). Ces dernières comprennent des veuves (6%), des divorcées (6%) et des célibataires (12%) avec, le plus souvent, des enfants à charge. Cette appropriation féminine de l'activité semble être le reflet d'une marque à la fois de responsabilisation et d'expansion sociale de la femme dans son aptitude à contribuer aux besoins de la famille. A cet égard, l'activité de production du « bili-bili » est, sur les plans économique et social, mieux perçue et plus valorisant que le travail au champ, car celle qui la pratique se situe à l'avant-garde de la débrouillardise familiale (Koulandi, 1999). Plus que l'accumulation de bénéfices, la régularité du revenu quotidien généré par l'activité de production apparaît comme le principal facteur de cette considération sociale accordée aux productrices.

Agées en majorité entre 20 et 40 ans (83% des productrices enquêtées), les actrices de la production du « bili-bili » sont pour la plupart des filles de cultivateurs ayant passé la plus grande partie de leur enfance en campagne, servant de main d'œuvre familiale pour l'agriculture et l'élevage, ou aidant à des tâches ménagères. Leur niveau scolaire dépasse rarement le cours élémentaire. En effet, 27% n'ont jamais été à l'école, alors que 72% n'ont pu traverser le cap de l'école primaire. Dans les communautés concernées, la scolarisation de la jeune fille n'a jamais été une priorité (Koulandi, 1999), celle-ci devant être éduquée par sa mère pour être prioritairement une bonne épouse. La résultante de cette éducation maternelle est un transfert du capital de savoir-faire maternel à la fille, sur le plan culinaire et de la gestion du foyer. L'activité de production de « bili-bili » apparaît ainsi, plus tard, comme une forme d'expression et d'exploitation des savoirs acquis. A cet égard, si l'activité de production de « bili-bili » est généralement motivée par le profit, elle reste un héritage technique et culturel de la communauté ou de la famille.

Le faible niveau d'instruction des productrices pourrait expliquer en partie le non-respect des principes élémentaires d'hygiène observé en particulier sur les sites de production, les lieux de vente et en général dans les quartiers de forte production. L'âge des productrices est en cohérence avec leur ancienneté dans l'activité. Si quelques-unes de ces productrices (moins de 5%) exercent l'activité depuis plus de 20 ans, la majorité (près de 75%) a une ancienneté professionnelle comprise entre 5 et 15 ans. Cette tendance est relativement la même dans les 3 villes enquêtées (Figure 2).

Les productrices qui ont moins de 5 ans d'expérience sont celles qui ont pour la plupart un âge inférieur à 30 ans. Celles ayant une expérience supérieure à 20 ans ont toutes un âge supérieur à 40 ans. Ce sont pour la plupart des femmes mariées et des veuves. La caractéristique commune à ces femmes est qu'elles ont un nombre d'enfants compris entre 4 et 7. Ceci renforce la thèse selon laquelle l'activité permet aux familles nombreuses et pauvres de subvenir à leurs besoins élémentaires.

Les productrices quittent l'activité à un âge compris entre 50 et 60 ans en général. La raison de cette retraite est principalement liée à la pénibilité de l'activité qui se fait ressentir de plus en plus avec le poids de l'âge et leur vulnérabilité par rapport à la chaleur intense que dégagent les foyers de cuisson du moût.

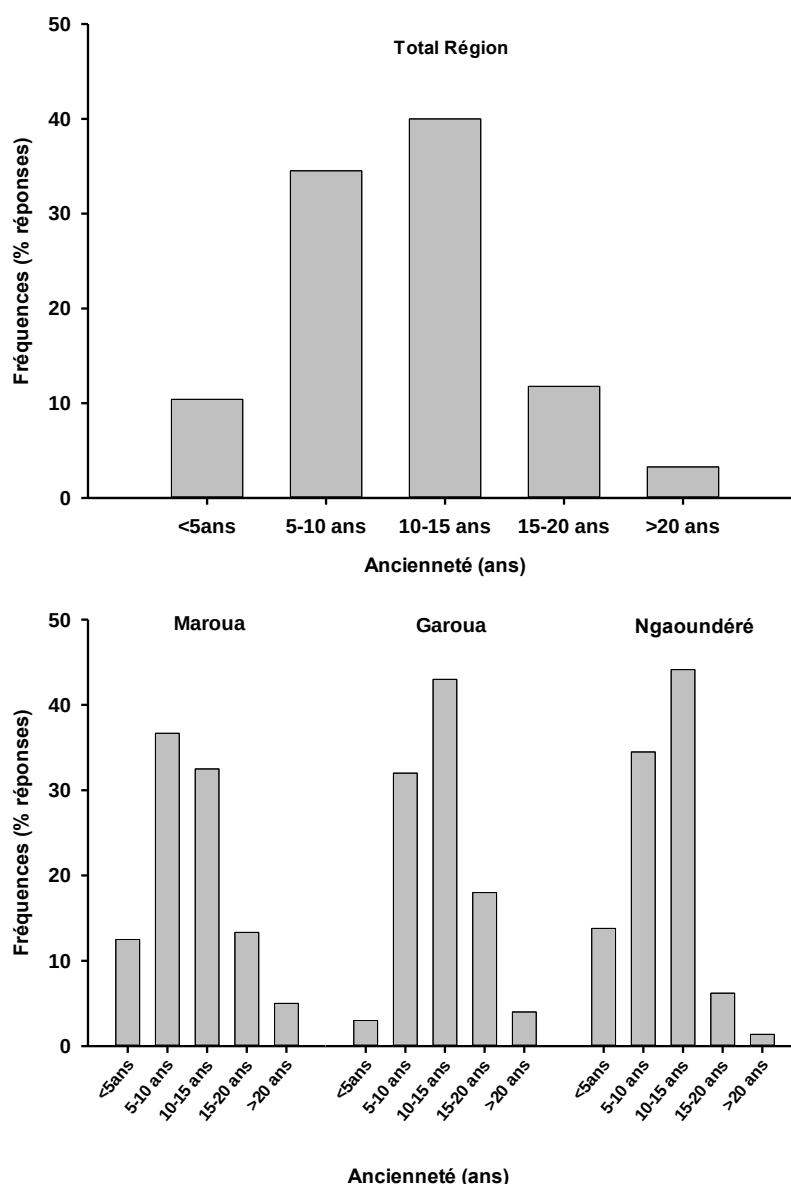


Fig. 2. Ancienneté des productrices de « bili-bili » dans l'activité

3.2 UNE ACTIVITÉ ETHNIQUE PORTÉE PAR LES MIGRATIONS DES POPULATIONS DANS UNE TRAJECTOIRE SAHEL - SAVANES

Les communautés productrices de « bili-bili » sont principalement les ethnies des savanes de l'Extrême Nord du Cameroun (Toupouri, Moundang, Matakam, Laka, Guiziga, Guidar, Fali) et les Mboum de l'Adamaoua. Toutefois, les Toupouri, les Moundang et les Laka émergent par leur implication très marquée dans l'activité et leur forte représentativité dans le système de production des trois villes (Figures 3).

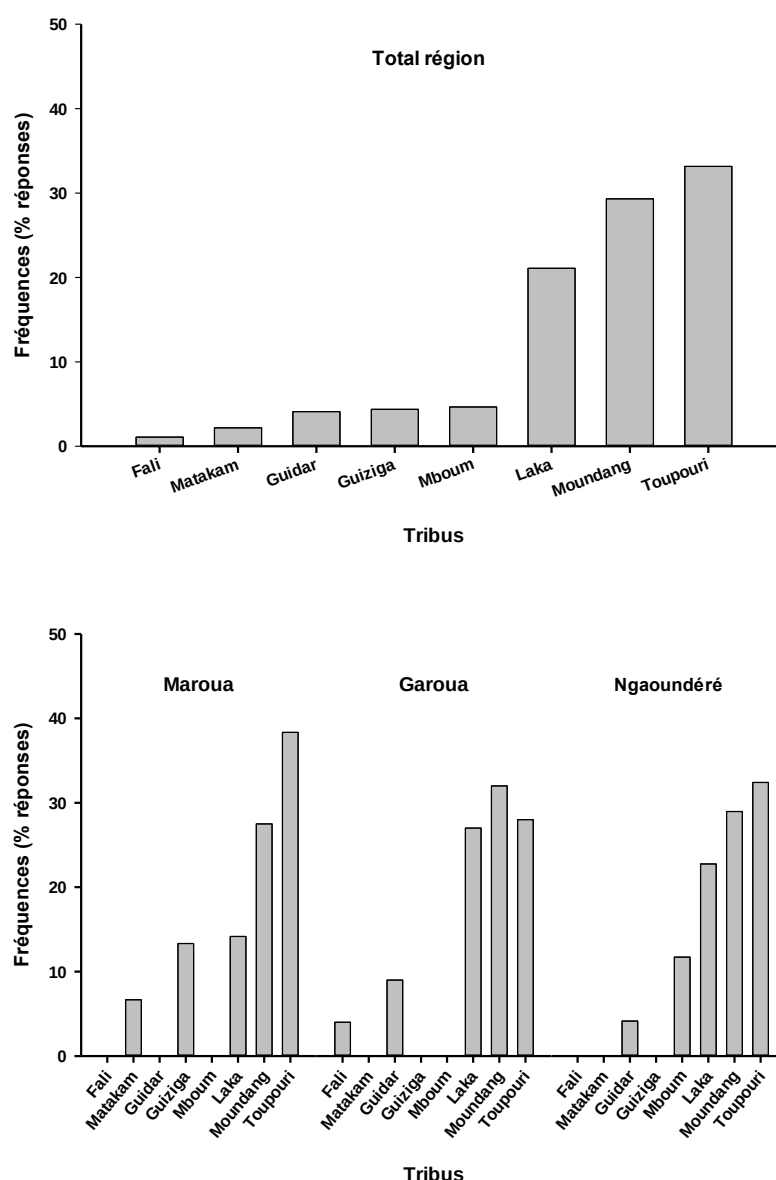


Fig. 3. Répartition ethnique des productrices de « bili-bili » dans les villes du Nord Cameroun

Cette différenciation ethnique s'expliquerait, comme le souligne Seignobos (2002), par le fait que la production du « bili-bili » viendrait des Toupouri et des Moundang qui initialement produisaient la boisson dans un contexte domestique pour les fêtes et cérémonies traditionnelles. Cette pratique domestique a été diffusée vers le Sud du Tchad auprès des Laka où la production et la distribution de masse trouverait son origine suite au développement de l'économie monétaire imposée très tôt par la culture du coton. Les Toupouri et les Moundang ont rapidement intégré cette pratique économique à la production du « bili-bili » qu'ils ont diffusée au cours de leurs migrations vers le plateau de l'Adamaoua. En effet, les migrations Toupouri, Moundang et Laka, inhérentes à la fuite des guerres, à la recherche de terres cultivables ou aux programmes de migrations organisées dans le cadre de l'extension de l'aire du coton, ou encore aux interdictions diverses de vente du « bili-bili » dans les zones à dominante musulmane, ont favorisé le rayonnement du système « bili-bili » sur les autres tribus et sa diffusion dans les centres urbains de Maroua, Garoua et Ngaoundéré. Cette dynamique justifie la prédominance des Toupouri, Moundang et Laka dans toutes les structures urbaines de production, et est indicatrice d'une trajectoire spatiale du système technique du « bili-bili » des savanes du Tchad vers le plateau de l'Adamaoua (Figure 4). La production de « bili-bili » par les autres tribus sédentaires résulterait du brassage avec les migrants Moundang, Toupouri et Laka.

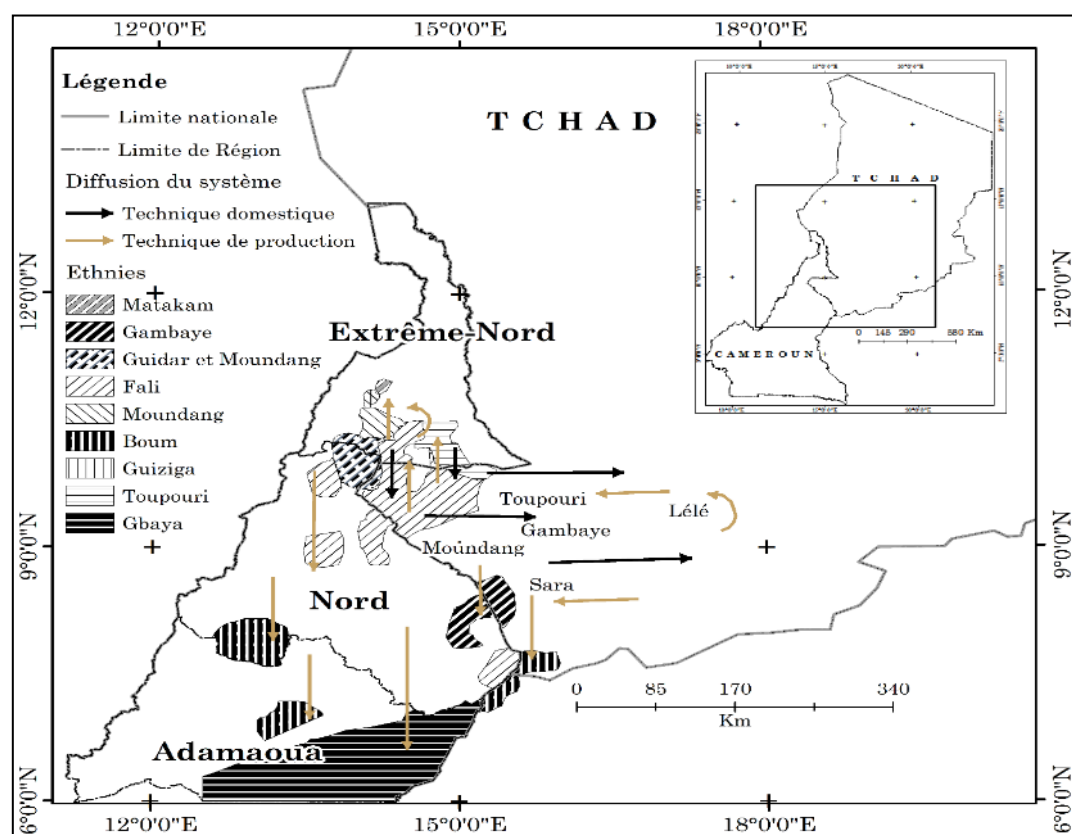


Fig. 4. Diffusion spatiale du système de production du « bili-bili »

3.3 UN PROCÉDÉ DE PRODUCTION DIFFÉRENCIÉ PAR ADAPTATION À L'ENVIRONNEMENT DE LA TRAJECTOIRE DE DIFFUSION

Si le maltage, le brassage et la fermentation constituent les principales phases du procédé global de transformation du sorgho en « bili-bili », les pratiques localisées de leur mise en œuvre mettent en évidence une différenciation des techniques et outils dont les trajectoires sont compatibles avec les migrations Toupouri, Moundang et Laka des zones sahéliennes chaudes vers le plateau relativement frais de l'Adamaoua. Cette différenciation intègre des adaptations territoriales des outils, pratiques et ingrédients du procédé original porté par les migrants (Figure 5 et Encadré), ainsi que des réajustements techniques introduits localement par les populations autochtones, réceptrices de la pratique technique. Toutes ces variantes se retrouvent dans la ville de Ngaoundéré, point de chute des migrations. On peut ainsi distinguer quatre variantes du procédé de production du « bili-bili » qui prennent leurs marques dès le trempage des grains pour la germination (Figure 5), la variante considérée comme originelle (P1) étant la pratique des ethnies Moundang, Toupouri et Laka, courante dans les villes de Maroua et Garoua. Au cours de leur migration vers le plateau de l'Adamaoua, ces ethnies adaptent cette pratique originelle aux outils et réalités de l'environnement, générant de nouvelles variantes (P2 et P3). Les Mboum, ethnie locale du plateau de l'Adamaoua, semblent adopter les pratiques des migrants, en l'intégrant à leur déterminisme propre, générant une autre variante (P4) du procédé.

Du fait certainement des températures relativement stables, bien qu'élevées des villes de Maroua et Garoua, les grains germés sont maturés en tas et à ciel ouvert pendant 24 heures, puis séchés au soleil pendant 48 heures pour obtenir un malt sec, de conservation relativement aisée. Dans la ville de Ngaoundéré, bien que les températures soient relativement fraîches, car dépassant rarement 30°C, leur variabilité, qui peut présenter des écarts journaliers supérieurs à 10°C, couplée à des périodes de très faible hygrométrie, notamment pendant la saison sèche, a imposé, aux migrants, des adaptations se traduisant par une maturation en sac qui peut durer jusqu'à 72 heures, pour maintenir une température acceptable et un temps de séchage réduit pour limiter la déshydratation des grains (variantes P2 et P3 du procédé). Les Mboum, peuples autochtones de la région de Ngaoundéré, sont porteurs de la variante P4 dans laquelle la germination est réalisée en 96H, la maturation du malt en 48H et son utilisation à l'état humide.

Les opérations ultérieures de brassage sont identiques à celles du procédé original. Elles commencent par l'opération d'empâtage, réalisée globalement dans les proportions d'un volume de farine de malt pour trois volumes d'eau. Toutefois, les opératrices de l'ethnie Mboum (Variante P4) ajoutent à la pâte, des écorces de *Triumfetta Cordifolia* pour améliorer la décantation ultérieure avant cuisson. Cette pratique est également utilisée par certains migrants (Variante P3) plutôt pendant la seconde

décantation pendant l'ébullition du moût. Si la cuisson du moût se fait dans des conditions relativement comparables pour toutes les opératrices, les opératrices Mboum filtrent le moût chaud alors que les migrants procèdent à un refroidissement avant filtration. Ce refroidissement facilite l'acidification du moût qui semble représenter un attribut technologique d'appréciation du produit par les migrants. Les mesures de pH effectuées sur les moûts considérés comme convenables par les opératrices se situent autour de 3,5. Après décantation, le surnageant riche en amylases (Nanadoum, 2006), est prélevé et le culot est cuit jusqu'à obtention d'une bouillie de coloration sombre. Le surnageant est alors mélangé à cette bouillie pour permettre, pendant le refroidissement une saccharification dont la fin est déterminée par un degré d'acidité du moût convenable à l'opératrice. L'arrêt de cette fermentation acidifiante est suivi par la filtration qui permettra d'obtenir un moût qui sera ensuite concentré par ébullition.

La fermentation est activée à partir des levures contenues dans la lie d'une production précédente, et s'étale sur une durée de 10 à 12 heures, à l'issue desquelles, le produit est mis en consommation.

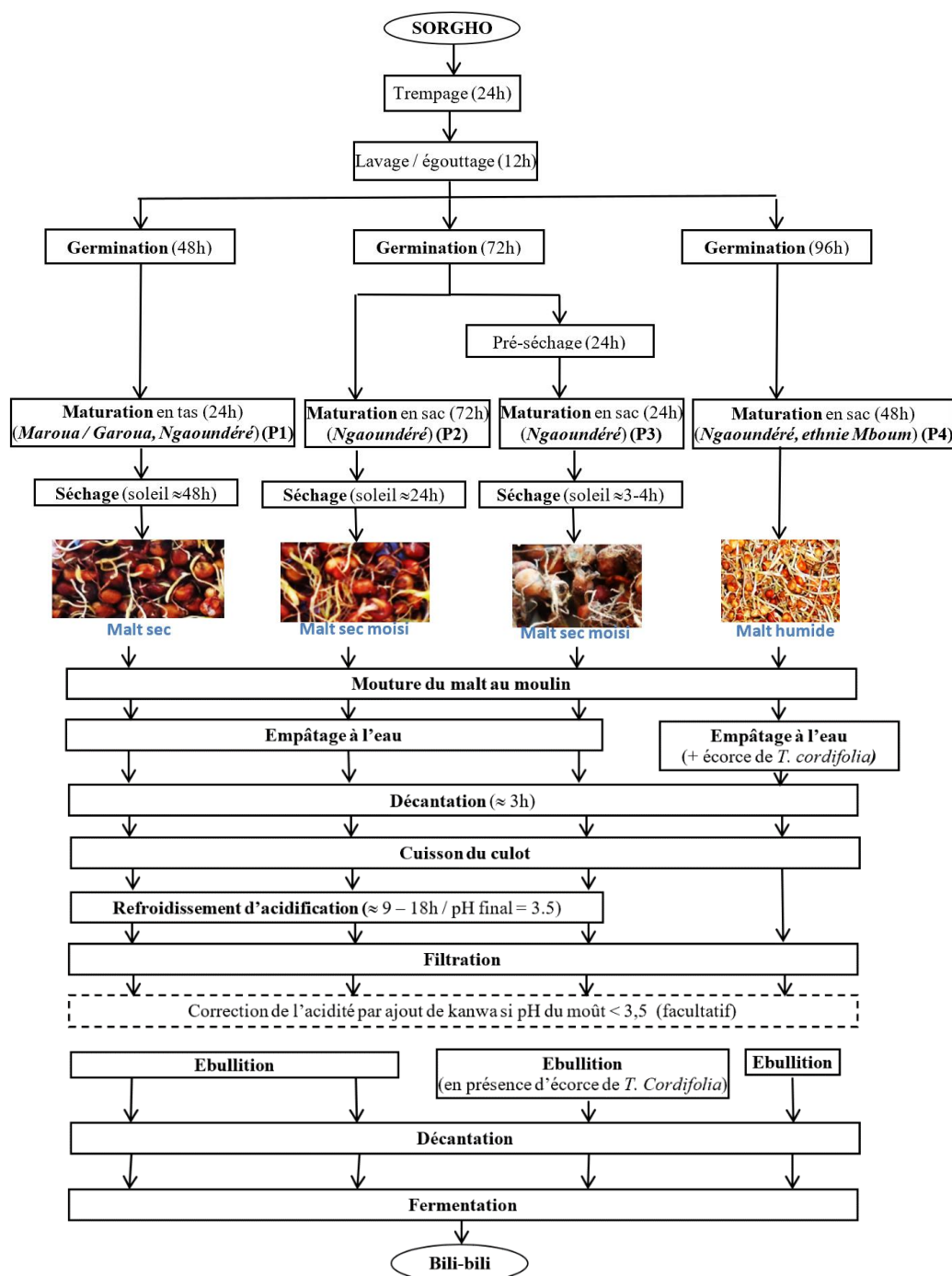


Fig. 5. Variabilité des pratiques de mise en œuvre du procédé de production du « bili-bili »

Trajectoire territoriale de différenciation des outils de production du « bili-bili »	
Maroua / Garoua	Ngaoundéré
	
Outils de trempage des grains : le trempage en cuvettes aérées à Ngaoundéré, est susceptible de faciliter l'oxygénation des grains et de d'aboutir à un meilleur rendement de germination	
	
Canaris de cuisson du moût	Sac plastique tressé, outil de maturation des grains de sorgho germé. Cette pratique contribue à maintenir les grains à une température convenable, en raison des températures relativement fraîches du plateau de l'Adamaoua
	
Canaris de fermentation	Fût de cuisson et de fermentation
A Garoua et Maroua, les pots en argile cuite constituent le principal outil de production du « bili-bili », tant pour le trempage des grains, la cuisson du moût, que la fermentation.	A Ngaoundéré par contre, les cuvettes en aluminium sont utilisées pour le trempage des grains et les fûts métalliques pour la cuisson du moût et sa fermentation

3.4 DES ATTRIBUTS DE LA QUALITÉ PORTÉS PAR LA DIFFÉRENCIATION DES PRATIQUES TECHNIQUES ET LES CONTRAINTES DE PRODUCTION

Le degré de fermentation du « bili-bili », porté par son taux d'alcool, et son amertume sont les principaux indicateurs de la qualité de la boisson (Figure. 6a). Au cours de la transformation, le niveau de sucrosité du moût à la cuisson et à l'ébullition est, pour toutes les actrices, le critère d'évaluation de l'aptitude à la fermentation de la boisson. Si la fermentation est perçue de façon relativement comparable par les actrices impliquées dans les quatre variantes du procédé de production, il n'en est pas de même de l'amertume. Les actrices des variantes P1, P2 et P4 attribuent à cette saveur une place relativement équivalente à la

fermentation, au contraire des actrices de la variante P3 qui semblent accorder moins d'importance à l'amertume. A peine 10% de ces actrices considèrent l'amertume comme attribut de qualité et la situent au même niveau que la tenue de la mousse et la couleur brune du « bili-bili ». Si cette différence de perception de l'amertume peut résulter d'un choix propre au désir gustatif de cette classe d'opératrices, elle peut également dériver de la pratique particulière au procédé P3, notamment pendant l'ébullition conduite en présence d'écorce de *T. cordifolia* et dont la fonction est de servir d'agent de collage et de clarification. Les conditions d'ébullition sont susceptibles d'initier une hydrolyse des gommes polysaccharides contenues dans l'écorce (Saidou *et al.*, 2011), contribuant ainsi à la fois à augmenter le taux de sucres libres du moût - ce qui en réduirait l'amertume -, et à favoriser des réactions de caramélisation ou de Maillard, dont l'une des conséquences serait le brunissement de la boisson. Cette hypothèse peut justifier le fait que la couleur marron du « bili-bili » apparaisse comme indicateur de qualité de la boisson issue du procédé P3, dans le même ordre de valeur que l'amertume. Dans le même ordre d'idée, la tenue de mousse de la boisson issue de la variante P3 peut également dériver de la richesse de *T. cordifolia* en protéines (Saidou *et al.*, 2011).

La qualité de la boisson est, par contre, minimisée lorsqu'elle présente une saveur trop acide ou trop alcaline (goût de kanwa) (Figure 6b). L'acide résulte d'une forte acidification lactique pendant les phases d'empattage pour toutes les variantes du procédé et de refroidissement pour les 3 premières variantes, en raison d'une contamination bactérienne (majoritairement lactique) provenant de l'environnement ou du matériel utilisé. Cette contamination lactique favoriserait une production incontrôlée d'acide lactique se traduisant parfois par une acidification au-delà du niveau recherché (Aka *et al.*, 2008; Belghanaoui, 2006; Laboui *et al.*, 2005; podolak *et al.*, 1996). Dans ce cas, la technique corrective développée par les productrices, pour relever le pH, est l'introduction dans le moût en ébullition, d'une roche sédimentaire alcaline localement appelée « kanwa ». Toutefois, une absence de contrôle des conditions d'usage de la roche alcaline, en termes de dosage et de temps de contact avec le moût, peut se traduire par une alcalinisation trop élevée de la boisson, d'où le « goût de kanwa » attribué au défaut par les opératrices.

Le faible score d'appréciation de l'acidité comme critère de mauvaise qualité du « bili-bili » dans la variante P3 pourrait s'expliquer par les réactions probables d'hydrolyse des polysaccharides et de caramélisation des sucres libres de *T. cordifolia* pendant l'ébullition du moût, avec pour effet, une atténuation de l'acidité de la boisson.

Bien que la fermentation du moût soit considérée par les opératrices comme l'indicateur clé de la qualité de la boisson, la contrainte relative aux conditions de sa mise en œuvre n'apparaît qu'en seconde position après les conditions d'ébullition (Figure 6c). Cette différenciation trouve son explication dans le fait que, pour l'opératrice, la qualité de la fermentation se construit dès l'ébullition du moût qui doit concentrer les sucres utilisés par les levures au cours de la fermentation. Celle-ci est ainsi perçue comme une conséquence logique de l'ébullition.

Les opérations de lavage et de germination des grains de sorgho, de cuisson du moût, ainsi que la qualité de l'eau utilisée tout au long du processus, sont perçues comme indicateurs technologiques de la qualité du « bili-bili » par les productrices, bien qu'avec une relative faible importance par rapport aux opérations d'ébullition et de fermentation. La relative limitation de l'accès à l'eau dans les zones de savanes, notamment en saison sèche, semble pouvoir justifier l'impact technologique du lavage et de la germination des grains sur la qualité du « bili-bili ». La difficulté d'accès à l'eau réduit l'intensité du lavage et l'arrosage d'entretien des grains, conduisant à l'introduction des grains de faible niveau hygiénique et des malts de qualité technologique médiocre dans les processus de maltage et de brassage. Quant à la cuisson, elle peut être limitée par la raréfaction de la ressource en bois de chauffage, obligeant souvent les productrices à réduire le temps de cuisson et d'ébullition du moût, ce qui se traduit par une gélatinisation et une hydrolyse incomplète de l'amidon, conduisant à un faible rendement de production et de qualité de la boisson.

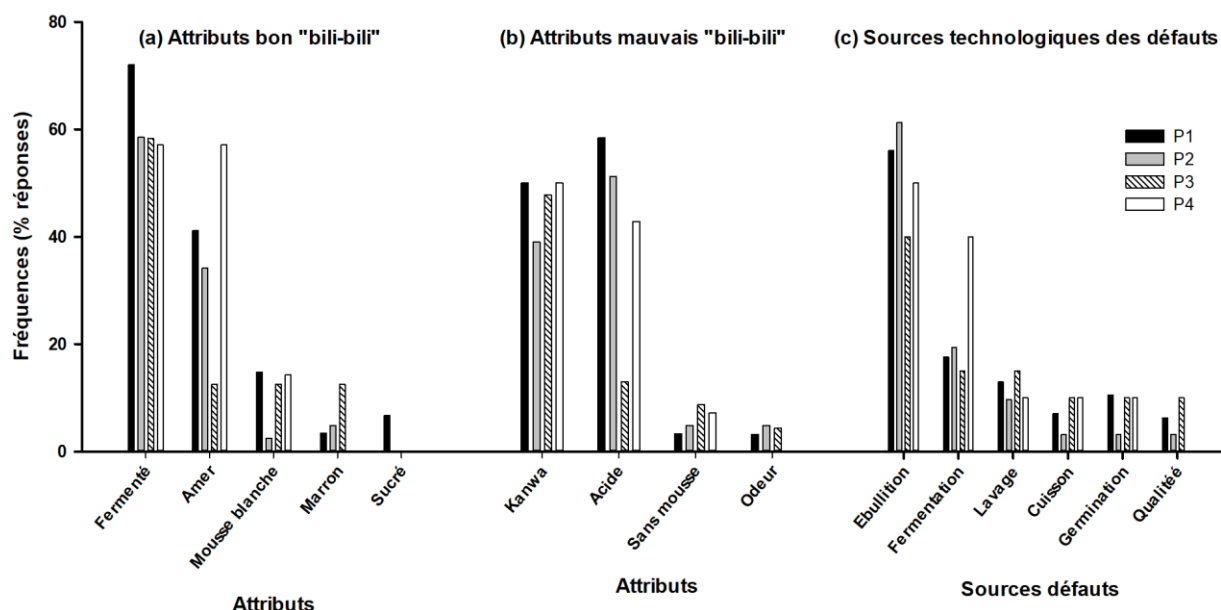


Fig. 6. Attributs de perception de la qualité du « bili-bili » par les actrices et causes technologiques des défauts de la qualité

3.5 LIMITES DU SYSTÈME TECHNIQUE DE PRODUCTION DU « BILI-BILI » ET VOIES POTENTIELLES D'AMÉLIORATION

L'évaluation du système de production du « bili-bili » soulève quelques questionnements d'ordre technologique, portant aussi bien sur les pratiques que sur les outils utilisés, et qui constituent autant de pistes de recherche pour l'amélioration du système technique et de la qualité de la boisson fermentée.

Bien que l'ébullition soit considérée par les productrices comme indicateur clé de la qualité du « bili-bili », la contrainte relative à sa mise en œuvre est liée à la qualité du malt. En effet, le maltage doit permettre une désagrégation du grain par les enzymes hydrolytiques synthétisées pendant la germination afin de produire, en fin d'ébullition, un moût riche en principes fermentescibles (Dewar *et al.*, 1997; Agu et palmer, 1996). L'hétérogénéité de la pratique du maltage dans les différentes variantes du procédé, en termes notamment de durée de germination, des conditions de maturation et d'usage ou non du séchage, est susceptible d'induire une différenciation dans le comportement du malt au brassage et par conséquent une variabilité de la qualité observée du « bili-bili ». Optimiser, voire standardiser ces pratiques, sur la base de l'identification et de l'analyse de leurs déterminants, constitue une voie de recherche pour la maîtrise de la qualité du « bili-bili ».

Dans le même ordre d'idée, les risques de contamination liées à l'opération de refroidissement – acidification, voire pendant la germination, couplées à la qualité de l'eau utilisée dans le processus, justifient le besoin d'une éducation des actrices aux bonnes pratiques d'hygiène, tant dans la conduite du processus technique, du traitement éventuel de l'eau utilisée (ébullition et/ou filtration) que de la gestion de l'environnement. La finalité d'une telle sensibilisation – éducation repose à la fois sur la réduction des contaminations bactériennes, la maîtrise de l'acidification du moût et de la fermentation, et la construction de l'image sociale du « bili-bili ».

En outre, la lie des productions antérieures, utilisée comme starter de fermentation, mérite d'être étudié en termes de composition et de fonctionnalité physico-chimique et microbiologique, eu égard à l'impact hautement significatif de ces caractéristiques sur la qualité de la boisson fermentée (Abdoul-Latif *et al.*, 2013). Une telle étude peut privilégier une démarche de maîtrise des modalités d'utilisation en termes de rapport efficacité/âge et de dose du ferment, en relation avec le rendement et la qualité de la boisson.

Enfin, l'évaluation de la qualité du « bili-bili » en relation avec les outils impliqués dans sa production, constitue une piste à explorer, notamment en termes de limite critique d'utilisation et, éventuellement d'impact sanitaire. En effet l'oxydation des fûts métalliques utilisés comme cuve de brassage dans l'Adamaoua est susceptible de favoriser une contamination de la boisson par la rouille et de justifier, de façon hypothétique, le noircissement dentaire des buveurs de « bili-bili » constaté dans la Région de l'Adamaoua.

4 CONCLUSION

La production du « bili-bili » dans les savanes du Nord Cameroun apparait comme un exemple de valorisation endogène du savoir-faire féminin. La dynamique d'adaptation territoriale du procédé est porteuse d'innovations, sous réserve de levée des contraintes impliquées. Ces innovations potentielles reposent, entre autres, sur une optimisation des procédés mis en œuvre et leur appropriation par les actrices. Toutefois, la conduite de ces innovations doit prendre en compte et privilégier les caractéristiques propres au contexte dans lequel évolue ce système technique.

REFERENCES

- [1] Abdoul-latif FM, Bassolé Ismael HN, Dicko Mamoudou H, 2013. Proximate composition of traditional local sorghum beer "dolo" manufactured in Ouagadougou. *African Journal of Biotechnology* Vol. 12 (13), 1517-1522.
- [2] Belganaoui A, Lamine F, Han W, Eutamene H, Fioramonti J, Bueno L, Agu RC, Palmer GH, 1996. Enzymic breakdown of endosperm proteins of sorghum at different malting temperatures. *Journal Institute of. Brewing*. 102 (6), 415-418.
- [3] Aka S, Camara F, Zinzendorf YN, Loukou YG, Dje KM, 2008. Evaluation of Organic Acids and Sugars Contents During the Production of "Tchapalo", a Traditional Sorghum Beer in Côte d'Ivoire. *Journal of Food Technology*, 6 (5): 189-195.
- [4] Briggs DE, Boulton CA, Brookes PA and Stevens R, 2004. *Brewing Science and practice*. Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abingto Cambridge CB1 6AH, England. 484p.
- [5] Cerdan C, Ndjouenkeu R, Mbayhoudel K, 2004. Valorisation des produits vivriers: place et rôle dans le développement économique des savanes d'Afrique centrale. *Cahier d'études et de recherches francophones/Agricultures*. 13 (1), 85-96.
- [6] Dewar J, Taylor JRN, Berjak P, 1997. Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *Journal of Cereal Science*. 26, 129-136.
- [7] Djanan D, Mbayhoudel K, Nanadoun M, 2003. Organisation des unités de transformation artisanale en zone de savanes: cas de la transformation du sorgho en bière locale bili-bili à Moundou au Tchad. Jean-Yves Jamin, L. Seiny Boukar, Christian Floret. 2003, Cirad - Prasac, 6 p., 2003. <hal-00130788>.
- [8] Koulandi J, 1999. Le bili-bili et la libération de la femme tupuri (idées et réflexions pour un débat constitutif sur l'avenir de la communauté tupuri du Tchad et du Cameroun). 36p.
- [9] Laboui H, Elmoualdi L, EL Yachioui M, Ouhssine M, 2005. Sélection de souches de bactéries lactiques antibactériennes. *Bulletin de la Société de Pharmacie*. Bordeaux. 144: 237-250.
- [10] Larpent JP, Larpent-gourand M, 1985. *Elément de microbiologie*. Eds hermann. 345 p.
- [11] Mbawala A, Fopa KRE, Mouafo TH, Tchougang MH, 2017. Antimicrobial activity of crude biosurfactants extracted from a locally fermented milk (pendidam) on yellow Achu soup produced in Ngaoundere, Cameroon. *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research*. (5), 59-67.
- [12] Nanadoun M, Mbaiguinam M, Gaillardin C, Pourquoi J, 2006. Suivi technique, analytique et microbiologique de la « bili bili », bière traditionnelle tchadienne. *Afrique Science* 02 (1): 69-82.
- [13] Podolak PK, Zayas JF, Kastner CL, Fung DY, 1996. Inhibition of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7 on beef by application of organic acids. *Journal of Food Protection*. 59: 370-373.
- [14] Saidou Clément, Tchatchueng JB, Ndjouenkeu R, Roux DCD, 2011. "Extraction and partial characterisation of hydrocolloid gums from some african legumes, " *International Journal of Food Engineering*: Vol. 7: Iss. 3, Article 15.
- [15] Seignobos C, 2002. Trente ans de bière de mil à Maroua: du saré à bili-bili au bistrot. *Colloque Méga Tchad/Nanterre*. 21-23 novembre 2002.
- [16] Taylor, 2010. Sorghum malting: Introduction, objectives and scientific principles. *International Sorghum and Millet. Collaborative Research Support Program (INTSORMIL CRSP)*.
- [17] Tegui B, 2015. La gastronomie camerounaise. *Revue Roumaine d'Etudes Francophones*. Issue N°7: 112-136.
- [18] Vaillant J, 2005. *Initiation à la théorie de l'échantillonnage*. 18p. <http://econometrie.ish-lyon.cnrs.fr>.

Cauchy-Kowaleskya problem in fuzzy normed spaces

Walo Omana Rebecca¹ and Kumwimba Seya Didier²

¹Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, University of Kinshasa, Kinshasa XI - B.P 190, RD Congo

²Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, University of Lubumbashi, C.R.F.D.M.I., Lubumbashi - B.P 1825, 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: This paper deals with abstract version of the Cauchy Problem in fuzzy normed space. We define a Hausdorff measure of non compactness for bounded fuzzy set to prove existence of solutions by using a sequential approximation of the abstract problem. As a byproduct, we obtain a fuzzy version of the Cauchy-Kowaleskya Theorem for the generalized Hukuhara nonlinear partial differential equations.

KEYWORDS: Fuzzy normed spaces, generalized Hukuhara derivative, Hausdorff measure of non compactness.

MATH. SUBJECT CLASSIFICATION: 35R13, 34A07, 28E10.

1 INTRODUCTION

This paper deals with some abstract version of fuzzy Cauchy - Kowaleskya Problem in (abstract) fuzzy normed space for the existence of solution to the problem:

$$\begin{aligned} u'gH &= A(t, u) \quad t \in I \subset \mathbb{R}, I =]0, a[\text{ or }]0, a[\text{ or }]0, a[\\ u(0) &= u_0. \end{aligned} \quad (1)$$

In crisp and also in fuzzy cases (1) has been studied by many authors see for instance [3], [4] and [5] for the crisp case and [6], [7] and [9] for the fuzzy case. Although, for the fuzzy case, the authors consider the nonlinear function A continuous in both of its variables. This paper is concerned with the case where A could be only continuous with respect to u and measurable with respect to t . The lack of compactness of the most of fuzzy normed or metric spaces could be a big deal for the existence of solution to the problem (1), and therefore a big challenge that should be solved. For this purpose, it is natural to consider (1) under some non-compactness hypothesis. In crisp case, such studies have been done by some authors, see for instance [4] and references therein.

In this paper, we define a Hausdorff measure of non-compactness for bounded fuzzy sets and prove some of its properties. We use it to prove the compactness of some sequential of approximate solution of (1) under our hypothesis on $A(t, u)$.

The paper is organized as follows.

- In section 2, we give some results on fuzzy normed spaces; we define a Hausdorff measure of non-compactness and prove some of its properties.
- In section 3, we recall some results on generalized Hukuhara differentiability and state and prove our main results
- In section 4, we give some applications of our main results for the fuzzy partial differential equations:

$$\partial_t gH = f(t, x, u, \partial_x gH(t, x)) \quad (2)$$

$$\text{And : } \partial_t gH = F(t, x, u, \partial_x gH(t, x)) \quad (3)$$

$$\text{for } u \in X = (E_1, \|\cdot\|) \text{ where } E_1 = R_F.$$

2 PRELIMINARIES

Let X be a non-empty set. A fuzzy subset of X is a mapping $u: X \rightarrow [0, 1]$, where $u(x) = 0$ correspond to no membership, $0 < u(x) < 1$ to partial membership and $u(x) = 1$ to full membership; The α -level set $[u]_\alpha$ is defined as

$$[u]_\alpha = \{x \in X: u(x) \geq \alpha\} \text{ for each } \alpha \in [0, 1]$$

Let us denote by E^n the space of all fuzzy subsets of R^n satisfying the following conditions

- (1) u maps R^n onto $I = [0, 1]$;
- (2) $[u]_0$ is a bounded set of R^n ;
- (3) u is normal, that is: there exists at least one point $x_0 \in R^n$ such that $u(x_0) = 1$;
- (4) $[u]_\alpha$ is a compact subset of R^n for all $\alpha \in I$; (5) u is fuzzy convex, that is

$$u(\lambda x + (1 - \lambda)y) \geq \min(u(x), u(y)) \quad \text{for } \lambda \in I$$

- (5) implies that $[u]_\alpha$ is convex subset of R^n (Lakshmikanthan [6]). We have the following representation Theorem.

Theorem 2.1. [9]

If $u \in E$, then

- (i) $[u]_\alpha$ is a non empty, compact and convex subset of R^n for all $\alpha \in I$;
- (ii) $[u]_{\alpha_2} \subseteq [u]_{\alpha_1}$ for all $0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq 1$;
- (iii) if (α_n) is an increasing sequence converging to α then $[u]_\alpha = \bigcap_{n \geq 1} [u]_{\alpha_n}$.

Let us consider the mappings $u^+_{\alpha_i}, u^-_{\alpha_i}: [0, 1] \rightarrow R$ such that $-\infty < u^-_{\alpha_i} \leq u^+_{\alpha_i} < +\infty$, and let $I_i^{\alpha_i} = \{x_i \in \mathbb{R} : u^-_{\alpha_i} \leq x_i \leq u^+_{\alpha_i}\}$. Then $I_i^{\alpha_i} \subset R$ is a real interval and in view of Theorem 2.1 we can consider

$$[u]_\alpha = \prod_{i=1}^n I_i^{\alpha_i} \text{ for all } 0 < \alpha_i \leq 1 \text{ and } [u]_0 = cl \left(\bigcap_{0 < \alpha \leq 1} [u]_\alpha \right)$$

The supremum metric on E^n is defined by

$$D_\infty(u, v) = \sup_{0 \leq \alpha \leq 1} \left(\max \{ \|u^-_\alpha - v^-_\alpha\|_\infty, \|u^+_\alpha - v^+_\alpha\|_\infty \} \right)$$

where $\|w\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} |w_i|$ $w \in R^n$.

D_∞ is a metric on E^n (see Taghavi et al.[8]). Let us consider the pseudo-norm

$$\|u\| = D_\infty(u, \tilde{0}),$$

Where

$$\mathfrak{O}(s) = \begin{cases} 0 & \text{if } s = 0 \\ \neq 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Then $\|\cdot\|$ satisfies the following properties.

Theorem 2.2.

$\|\cdot\|: E^n \rightarrow R^+$ is such that :

- (1) $\|\cdot\| = 0$ iff $u = \mathfrak{O}$.
- (2) $\|\lambda \odot u\|_n = |\lambda| \cdot \|u\|_n$ for all $\lambda \in R$ and $u \in E^n$.
- (3) $\|u \oplus v\|_n \leq \|u\|_n + \|v\|_n$ for all $u, v \in E^n$.

- (4) $\| |u| \|_n - \| |v| \|_n \leq D_\infty(u, v)$, for all $u, v \in E^n$.
- (5) $D_\infty(a \odot u, b \odot u) = |b - a| \cdot \|u\|_n$, for all $a, b \in \mathbb{R}$ and $u \in E^n$.
- (6) $D_\infty(u, v) = \|u \ominus_{gH} v\|_n$ for all $u, v \in E^n$ and $u \ominus_{gH} v$ is the generalized Hukuhara difference of u and v .

Proof.

- (1) $\|u\|_n = D_\infty(u, \mathbf{0}) = \sup_{0 < \alpha \leq 1} (\max\{\|u_\alpha^-\|_\infty, \|u_\alpha^+\|_\infty\})$ and $D_\infty(u, \mathbf{0}) = 0$ iff $\|u_\alpha^-\|_\infty = 0 = \|u_\alpha^+\|_\infty$, therefore $u = \mathbf{0}$.
- (2) For all $\lambda \in \mathbb{R}$ and $u \in E^n$,

$$\begin{aligned} \|\lambda \odot u\|_n &= D_\infty(u, \tilde{0}) \\ &= \sup_{0 < \alpha \leq 1} (\max\{\|\lambda u_\alpha^-\|_\infty, \|\lambda u_\alpha^+\|_\infty\}) \\ &= |\lambda| \sup_{0 < \alpha \leq 1} (\max\{\|u_\alpha^-\|_\infty, \|u_\alpha^+\|_\infty\}) \\ &= |\lambda| \cdot \|u\|_n. \end{aligned}$$

- (3) For all $u, v \in E^n$,

$$\begin{aligned} \|u \oplus v\|_n &= \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max\{\|(u \oplus v)_\alpha^-\|_\infty, \|(u \oplus v)_\alpha^+\|_\infty\}\} \\ &= \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max(\|u_\alpha^- + v_\alpha^-\|_\infty, \|u_\alpha^+ + v_\alpha^+\|_\infty)\} \\ &\leq \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max(\|u_\alpha^-\|_\infty + \|v_\alpha^-\|_\infty, \|u_\alpha^+\|_\infty + \|v_\alpha^+\|_\infty)\} \\ &\leq \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max(\|u_\alpha^-\|_\infty, \|u_\alpha^+\|_\infty) + \max(\|v_\alpha^-\|_\infty, \|v_\alpha^+\|_\infty)\} \\ &= \|u\|_n + \|v\|_n. \end{aligned}$$

- (4) For all $u, v \in E^n$,

$$\| |u| \|_n - \| |v| \|_n = |D_\infty(u, \mathbf{0}) - D_\infty(v, \mathbf{0})| \leq D_\infty(u, v)$$

- (5) For all $a, b \in \mathbb{R}$ and $u \in E^n$,

$$\begin{aligned} D_\infty(a \odot u, b \odot u) &= \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max\{\|au_\alpha^- - bu_\alpha^-\|_\infty, \|au_\alpha^+ - bu_\alpha^+\|_\infty\}\} \\ &= \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max(|b - a|\|u_\alpha^-\|_\infty, |b - a|\|u_\alpha^+\|_\infty)\} \\ &= |b - a| \|u\|_n. \end{aligned}$$

- (6) We show that $D_\infty(u, v) = \|u \ominus_{gH} v\|_n$. For all $u, v \in E^n$, $u \ominus_{gH} v \in E^n$ is equivalent to the existence of $c \neq \mathbf{0}$ such that $u = v \oplus c$.

Hence $u_\alpha^- - v_\alpha^- \not\approx \tilde{0}$ and $u_\alpha^+ - v_\alpha^+ \not\approx \tilde{0}$.

Hence

$$\begin{aligned} \|u \ominus_{gH} v\|_n &= \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{\max(\|u_\alpha^- - v_\alpha^-\|_\infty, \|u_\alpha^+ - v_\alpha^+\|_\infty)\} \\ &= D_\infty(u, v). \end{aligned}$$

Let us consider E^n with the pseudo-norm $\| \cdot \|_n$ then the fuzzy space $(E^n, \| \cdot \|_n)$ is not linear.

On the other hand (E^n, D_∞) is a complete metric space. Let us denote by $X = (E^n, \| \cdot \|_n)$. open ball in X with center $a \in X$ and radius R by

$$B(a; R) = \{u \in E^n \mid D_\infty(u, a) < R\}$$

The closed ball is defined by

$$B^-(a; R) = cl(B(a; R))$$

Definition 2.3.

A subset $B \subset X$ is uniformly bounded if there exists a constant β such that

$$B \subset B(\theta; \beta)$$

Let $B \subset X$ be the set of all uniformly bounded subsets of X , we define the diameter of $B \subset X$ by

$$diam B = \sup \{ \|u \ominus_{gH} v\|_n \mid u \in B \text{ and } v \in B \}$$

Definition 2.4.

Let $\{B(a_i; \varepsilon_i)\}_{i \in I}$, $a_i \in E^n$, $\varepsilon_i \in R^+$, $\varepsilon_i > 0$ be a family of opens balls in X and let $B \subset X$ be such that $B \subset \bigcup_{i \in I} B(a_i; \varepsilon_i)$, then $\{B(a_i; \varepsilon_i)\}_{i \in I}$ is a ε -cover of B .

In general, if $\{U_i\}_{i \in I} \subset X$ is a family in X such that $B \subset \bigcup_{i \in I} U_i$, then $\{U_i\}_{i \in I}$ is a cover of B .

Since X is not a compact space, we define a fuzzy non compactness measure:

Definition 2.5.

Let $B \in \mathcal{B}$ be a uniformly bounded set of X . The mapping $\theta : \mathcal{B} \rightarrow R^+$ defined by $\theta(B) = \inf\{d > 0 \text{ such that } B \text{ is covered by a finite number of fuzzy subset of diameter less than } d\}$ is a Hausdorff measure of non compactness.

Proposition 2.6.

Let $\theta : \mathcal{B} \rightarrow R^+$ be the Hausdorff measure of non compactness of the Definition 2.5. Then

- a) $\theta(B) = 0$ iff B is (relatively) compact.
- b) θ is a semi-norm, that is
 - (i) $\theta(\lambda \odot B) = |\lambda| \theta(B)$ for all $B \in \mathcal{B}$ and $\lambda \in R$.
 - (ii) $\theta(B_1 \oplus B_2) \leq \theta(B_1) + \theta(B_2)$ for all $B_1 \in \mathcal{B}$ and $B_2 \in \mathcal{B}$.
- c) If $B_1 \subset B_2$ then $\theta(B_1) \leq \theta(B_2)$.
- d) $\theta(B_1 \vee B_2) = \max(\theta(B_1), \theta(B_2))$
- e) θ is continuous with respect to D_∞ .

Proof.

We observe that (c), (d) and (e) are easy consequences of the definition of θ and properties of fuzzy sets. So we prove (a) and (b).

- (a) $\theta(B) = 0$ if and only if $\|u \ominus_{gH} v\|_n = 0$ for all u and $v \in B$ that is $D_\infty(u, v) = 0$ which means that any open ball centered at u contains v , for all $v \in B$. There for, one can find a finite family of sets $B_1 = B(u; r)$, $B_2 = \emptyset, \dots, B_p \subset \emptyset$ such that $B = \bigcup_{i=1}^p B_i$. Hence (a).

- (b) (i) By the property (2) of $\|\cdot\|_n$ we have

$$\|\lambda \odot u\|_n = |\lambda| \|u\|_n$$

Let $B_1, B_2, \dots, B_p \subset X$ and $\varepsilon > 0$ be such that $B = \bigcup_{i=1}^p B_i$ and $diam B_i \leq \theta(B) + \varepsilon$.

Since $\|\lambda \odot u \ominus_{gH} \lambda \odot v\|_n = |\lambda| \|u \ominus_{gH} v\|_n$, we have

$$\begin{aligned} |\lambda| \sup_{B_1} \{\|u \ominus_{gH} v\|_n\} &= \sup_{B_1} \{\|\lambda \odot u \ominus_{gH} \lambda \odot v\|_n\} \\ &= \text{diam}(\lambda \odot B_i). \end{aligned}$$

Therefore

$$\text{diam}(\lambda \odot B_i) = |\lambda| \text{diam} B_i \leq |\lambda|(\beta(B) + \varepsilon)$$

Hence $\beta(\lambda B) \leq |\lambda| \beta(B)$ since ε is arbitrary.

If $\lambda \neq 0$, then

$$\begin{aligned} \beta(B) &= \beta\left(\left(\frac{1}{\lambda}\right) \cdot \lambda B\right) \\ &= \beta\left(\frac{1}{\lambda} \cdot (\lambda \odot B)\right) \\ &\leq \frac{1}{|\lambda|} \beta(\lambda \odot B). \end{aligned}$$

Therefore

$$|\lambda| \beta(B) \leq \beta(\lambda \odot B)$$

Hence (b) is proved.

- (ii) Let $\{S_i\}_{i=1}^n$ be a finite family of subsets of X such that $B_1 \subset \bigvee_{i=1}^n S_i$ and $\text{diam} S_i \leq \beta(B_1) + \frac{\varepsilon}{2}$, and let $\{T_j\}_{j=1}^n$ another family of subsets of X such that $B_2 \subset \bigvee_{j=1}^n T_j$ and $\text{diam} T_j \leq \beta(B_2) + \frac{\varepsilon}{2}$. Since $B_1 \oplus B_2 \subset \bigvee_{i,j=1}^n S_i \oplus T_j$, by the property (3) of $\|\cdot\|_n$ we have

$$\begin{aligned} \text{diam}(S_i \oplus T_j) &\leq \text{diam} S_i + \text{diam} T_j \\ &\leq \beta(B_1) + \frac{\varepsilon}{2} + \beta(B_2) + \frac{\varepsilon}{2} \\ &= \beta(B_1) + \beta(B_2) + \varepsilon. \end{aligned}$$

Hence (ii) is proved, since ε is arbitrary.

3 THE CAUCHY PROBLEM

3.1 GENERALIZED HUKUHARA DERIVATIVE

Definition 3.1. [2]

Let $u, v \in X$

$$u \ominus_{gH} v = w \text{ iff } \begin{cases} (i) & u = v \oplus w \\ (ii) & v = u \oplus (-1) \odot w. \end{cases}$$

In the term of α -level set, we have

(a) For $n = 1$, $[u \ominus_{gH} v]_\alpha = [\min\{u_\alpha^- - v_\alpha^-, u_\alpha^+ - v_\alpha^+\}, \max\{u_\alpha^- - v_\alpha^-, u_\alpha^+ - v_\alpha^+\}]$.

(b) In E^n , the existence of $[u]_\alpha \ominus_{int} [v]_\alpha$ does not imply $u \ominus_{gH} v$ in general.

Definition 3.2. [6]

A mapping $F: I \rightarrow E^n$ is Hukuhara differentiable at $t_0 \in I$ if there exists $F^0(t_0) \in E^n$ such that

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{F(t_0 + h) \ominus_H F(t_0)}{h} \quad \text{and} \quad \lim_{h \rightarrow 0} \frac{F(t_0) \ominus_H F(t_0 + h)}{h}$$

exist and are equal to $F'(t_0)$. Limits are taken in (E^n, D_∞) .

From Definition 3.2, one gets the differential of the multivariate mapping F_α , $\alpha \in [0, 1]$ given by

$$DF_\alpha(t) = [F^0(t)]_\alpha$$

On the other hand, we have

Theorem 3.3. [6]

Let $F : I \rightarrow E^n$

- (a) For all $t \in I$, there exists $\beta > 0$ such that the H -difference $F(t+h) \ominus_H F(t)$ and $F(t) \ominus_H F(t-h)$ exist for all $0 \leq h < \beta$.
- (b) The set-valued mapping F_α , $\alpha \in [0, 1]$ are uniformly differentiable, that is, there exists DF_α such that, there exists $\delta > 0$, and

$$D_\infty(F_\alpha(t+h) \ominus_{int} F_\alpha(t), D_\infty F_\alpha(t)) < \varepsilon$$

and

$$D_\infty(F_\alpha(t) \ominus_{int} F_\alpha(t-h), D_\infty F_\alpha(t)) < \varepsilon$$

for all $\varepsilon > 0$ and $0 \leq h < \delta$.

That is

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left\| \frac{F_\alpha(t+h) \ominus_{int} F_\alpha(t) \ominus_H h DF_\alpha(t)}{h} \right\|_n = 0 \quad (4)$$

and

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left\| \frac{F_\alpha(t) \ominus_{int} F_\alpha(t-h) \ominus_H h DF_\alpha(t)}{h} \right\|_n = 0. \quad (5)$$

Theorem 3.4. [1]

Let $F : I \rightarrow E^1$ and denote $F_\alpha(t) = [f_\alpha^-(t), f_\alpha^+(t)]$, $\alpha \in [0, 1]$. Then F is differentiable if f_α^-, f_α^+ are differentiable and, we say that:

- (a) F is ((i) – gH)–differentiable at $t_0 \in I$, if

$$[F'(t_0)]_\alpha = [(f_\alpha^-)'(t_0), (f_\alpha^+)'(t_0)]; \alpha \in [0, 1] \quad (6)$$

- (b) F is ((ii) – gH)–differentiable at $t_0 \in I$, if

$$[F'(t_0)]_\alpha = [(f_\alpha^+)'(t_0), (f_\alpha^-)'(t_0)]; \alpha \in [0, 1] \quad (7)$$

Definition 3.5. [1]

A point $t_0 \in I$ is a switching point for F^0 if in any neighborhood V of t_0 in the interior of I , there exist two points t_1 and t_2 such that $t_1 < t_0 < t_2$ and $I_1(6)$ holds at t_1 and (7) does not hold at t_2 or (7) holds and (6) does not hold.

$I_1(7)$ holds at t_1 and (6) does not hold at t_2 or (6) holds and (7) does not hold.

Theorem 3.6. [6]

Assume $F : I \rightarrow E^1$ differentiable and does not have a switching point then, if F is integrable over I , we have

$$\int_a^b F'(s) ds = F(b) \ominus_H F(a) \text{ for } I = [0, 1] \subset \mathbb{R}$$

Proof. For all $\alpha \in [0, 1]$ fixed, if there is no switching point, then we may prove that

$$F_\alpha(b) = F_\alpha(a) \oplus_{int} \int_a^b DF_\alpha(s) \text{ or } F_\alpha(a) = F_\alpha(b) \ominus_{int} \int_a^b DF_\alpha(s) \quad (8)$$

3.2 MAIN RESULTS

Let $X = (E^1, || \cdot ||_1)$ and consider the fuzzy differential problem

$$\begin{aligned} u'_{gH} &= A(t, u) \quad t \in I \\ u(t_0) &= u_0 \end{aligned} \quad (9)$$

Where

$A : I \times X \rightarrow X$ such, $I \subset \mathbb{R}$ and $t_0 \in I$ an open subset of $\mathbb{R}$.

$A(t, \cdot) : X \rightarrow X$ is continuous.

$A(\cdot, u) : I \rightarrow X$ is strongly measurable.

We consider the Cauchy problem (9) under the following hypothesis on A :

(H1) $||A(t, u)||_1 \leq C ||u||_1 + M$, where $C > 0$, and $M > 0$ are real.

(H2) There exists $K > 0$ such that $\beta(A(I \times B)) \leq K\beta(B)$ for any $B \in B$.

(H3) There is no switching point.

Our main result can be formulate as follows.

Theorem 3.7.

Assume (H1)-(H3) hold, then (9) has at least one solution.

We shall need some preliminary lemmas.

Lemma 3.8.

Assume (H1) and (H3) hold, then there exists an approximate solution of (9) in $[t_0, t_0 + \alpha]$ for some $\alpha > 0$ small.

Proof.

Without lost of generality, let $t_0 = 0$, $u(0) = \mathbf{0}$; and $B \subset B(\mathbf{0}, \delta)$ for some $\delta > 0$, be a bounded set in and X , $a_0 = \min\{\alpha, \frac{\delta}{M+C+1}\}$ $T_0 = [0, a_0] \subset [0, \alpha]$. Let us partition T_0 into subintervals $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_N = a_0$. For any $t \in [t_j, t_{j+1}]$, $j = 1, 2, \dots, N$, $(t - t_j) \odot A(t, u(t))$ is well defined, measurable on t for every $u \in B$ and continuous on $u \in B$ for a.e. $t \in]t_j, t_{j+1}[= T_0^j \subset T_0$. Therefore, we can define the sequence $(u_n(t))_{t \in B}$ by:

$$u_n(t) = \begin{cases} \mathbf{0} & \text{if } t \leq 0 \\ u_n(t_k) \oplus (t - t_k) \odot A(t_k, u_n(t_k)) & \text{if } s = 0, t \in [t_k, t_{k+1}] \\ \mathbf{0} & \text{if } t > a_0 \end{cases}$$

and for $j = 1, 2, \dots, N$ we have $u_n(t_k) \in B(\mathbf{0}, \delta)$. Clearly $T_0 = [0, a_0] \neq \emptyset$ since $0 \in T_0$. We observe that

$$\int_{t_k}^t A(t_k, u_n(t_k)) ds = (t - t_k) \odot A(t_k, u_n(t_k)) \quad (10)$$

We may define t_k by $t_k = \frac{ka_0}{N}$, $k = 1, 2, \dots, N$ to partition T_0 .

We first have to prove that:

- (i) u_n is uniformly continuous on $]-\infty, a_0]$.
- (ii) u_n is piecewise derivable on T_0 .
- (i) For all $t, t^0 \in T_0$, we have

$$\|u_n(t) \ominus_{gH} u_n(t')\|_1 = \sup_{0 < \alpha \leq 1} \{ \max \{ \|(u_n)_\alpha^-(t) - (u_n)_\alpha^-(t')\|_\infty, \|(u_n)_\alpha^+(t) - (u_n)_\alpha^+(t')\|_\infty \} \}$$

Let us note by

$$D_\infty^+(u, v) = \|u_\alpha^+ - v_\alpha^+\|_\infty \text{ and } D_\infty^-(u, v) = \|u_\alpha^- - v_\alpha^-\|_\infty$$

Hence

$$\begin{aligned} D_\infty^+(u_n(t), u_n(t^0)) &= \| (u_n)_\alpha^+(t) - (u_n)_\alpha^+(t_k) + (u_n)_\alpha^+(t_k) - (u_n)_\alpha^+(t^0) \|_\infty \\ &= \| (t - t_k) A_\alpha^+(t_k, u_n(t_k)) + (t_k - t^0) A_\alpha^+(t_k, u_n(t_k)) \|_\infty \\ &= \| (t - t^0) A_\alpha^+(t_k, u_n(t_k)) \|_\infty \\ &= |t - t^0| \|A_\alpha^+(t_k, u_n(t_k))\|_\infty. \end{aligned}$$

Similarly

$$D_\infty^-(u_n(t), u_n(t')) = |t - t'| \|A_\alpha^-(t_k, u_n(t_k))\|_\infty$$

Therefore

$$\begin{aligned} \|u_n(t) \ominus_{gH} u_n(t')\|_1 &= \sup_{0 < \alpha < 1} \{ \max \{ |t - t'| \|A_\alpha^-(t_k, u_n(t_k))\|_\infty, |t - t'| \|A_\alpha^+(t_k, u_n(t_k))\|_\infty \} \} \\ &= |t - t'| \|A(t_k, u_n(t_k))\|_1 \\ &\leq |t - t'| (C\rho + M). \end{aligned}$$

For $\delta < \frac{\varepsilon}{C\rho + M}$, $|t - t'| < \delta$, we have $\|u_n(t) \ominus_{gH} u_n(t')\|_1 < \varepsilon$.

Thus $u_n(t)$ is uniformly continuous on T_0 . Since $u_n(t) = 0$ for all $t \leq 0$, we have, $u_n(t)$ uniformly continuous on $]-\infty, a_0]$.

- (ii) For all $t \in]t_k, t_{k+1}[=]\frac{ka_0}{N}, \frac{(k+1)a_0}{N}[$, consider $h > 0$ small enough such that $t + h$ and $t - h \in T_0^k$, then $u_n(t + h) \ominus_{gH} u_n(t)$ is well defined on T_0^k and

$$\begin{aligned} D_\infty(u_n(t + h) \ominus_{gH} u_n(t), h \odot A(t_k, u_n(t_k))) \\ = \sup_{0 < \alpha < 1} \{ \max \{ \|(u_n)_\alpha^-(t + h) - (u_n)_\alpha^-(t) - h A_\alpha^-(t_k, u_n(t_k))\|_\infty, \\ \|(u_n)_\alpha^+(t + h) - (u_n)_\alpha^+(t) - h A_\alpha^+(t_k, u_n(t_k))\|_\infty \} \}. \end{aligned}$$

We have

$$k(u_n)_\alpha^\pm(t + h) - (u_n)_\alpha^\pm(t) - h A_\alpha^\pm(t_k, u_n(t_k)) k_\infty = k[(t + h - t) - h] A_\alpha^\pm(t_k, u_n(t_k)) k_\infty = 0$$

Hence

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left\| \frac{(u_n)_\alpha^\pm(t+h) - (u_n)_\alpha^\pm(t) - hA_\alpha^\pm(t_k, u_n(t_k))}{h} \right\|_\infty = 0$$

So that

$$((u_n)_\alpha^\pm)'(t) = A_\alpha^\pm(t_k, u_n(t_k))$$

Similarly

$$((u_n)_\alpha^\mp)'(t) = A_\alpha^\mp(t_k, u_n(t_k))$$

Therefore, assuming that there is no switching point at t_k and t_{k+1} for all $1 \leq k \leq N$, then we have

$$(u_n)'_{gH}(t) = A(t_k, u_n(t_k)) \quad (11)$$

Lemma 3.9.

Assume (H1) and (H2) hold. If $u_n(t)$ is an approximate solution of (9), piecewise differentiable such that, there is no switching point at t_k and t_{k+1} for $1 \leq k \leq N-1$, then

$$\|u_n(t) \ominus_H u_n(t_0) \ominus_H \int_{t_0}^t A(s, u_n(s))ds\|_1 \leq \varepsilon|t - t_0|$$

Proof.

Let $t_0 = 0$, $t > 0$ and a partition of $T = [0, t]$ defined by $0 < t_1 < t_2 \cdots < t_N = t$ such that $t_k = \frac{kt}{N}$, for $k = 1, 2, \dots, N$, for $N > 0$ large enough, and $u_n(t)$ derivable on $]t_j, t_{j+1}[$, $j = 1, 2, \dots, N-1$. Assume that $(u_n)'(t)$ is bounded and measurable, which is possible by (H1), the definition of $u_n(t)$ and (11) and $u_n'(t)$ has no switching point. Then by the Aumann definition of fuzzy integral we have

$$u_n(t_{k+1}) = u_n(t_k) \oplus \int_{t_k}^{t_{k+1}} (u_n)'_{gH}(s)ds$$

And by Lemma 3.8, and continuity of integral we have

$$\begin{aligned} & \|u_n(t_{k+1}) \ominus_H u_n(t_k) \ominus_H \int_{t_k}^{t_{k+1}} A(s, u_n(s))ds\|_1 \\ &= \left\| \int_{t_k}^{t_{k+1}} ((u_n)'_{gH}(s)) \ominus_H A(s, u_n(s))ds \right\|_1 \\ &\leq \int_{t_k}^{t_{k+1}} \|((u_n)'_{gH}(s)) \ominus_H A(s, u_n(s))\|_1 ds \leq \varepsilon \int_{t_k}^{t_{k+1}} ds \\ &= \varepsilon|t_{k+1} - t_k|. \end{aligned}$$

Therefore

$$\begin{aligned} \|u_n(t) \ominus_H u_n(0) \ominus_H \int_0^t A(s, u_n(s))ds\|_1 &= \left\| \int_0^t ((u_n)'_{gH}(s)) \ominus_H A(s, u_n(s))ds \right\|_1 \\ &= \left\| \sum_{k=1}^{N-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} ((u_n)'_{gH}(s)) \ominus_H A(s, u_n(s))ds \right\|_1 \\ &\leq \sum_{k=1}^{N-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \|((u_n)'_{gH}(s)) \ominus_H A(s, u_n(s))\|_1 ds \\ &\leq \varepsilon \sum_{k=1}^{N-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} ds = \varepsilon \sum_{k=1}^{N-1} |t_{k+1} - t_k| \leq \varepsilon|t|, \end{aligned}$$

for all t such that $0, t \in [0, a_0]$.

Proof of Theorem 3.7

The standard way to prove existence of solution of (9) by mean of approximate solution is to prove that

1. $(u_n(t))_{n \geq 1}$ is uniformly bounded and equi-continuous on $[0, a_0]$.
2. Using Ascoli-Arzela Theorem, $(u_n(t))_{n \geq 1}$ converges or has a subsequence converging to a solution of (9).

Unfortunately, X is not a compact space and (2^0) is not sufficient to have convergence. We must use a non-compactness argument.

Consider the differential equation

$$(u_n)'_{gH}(t) = A(t, u_n(t))$$

By (H3) and Theorem 3.6, we have

$$u_n(t) \ominus_H u_n(0) = \int_0^t (u_n)'_{gH}(s) ds = \int_0^t A(s, u_n(s)) ds$$

and

$$\|u_n(t) \ominus_H u_n(0)\|_1 \leq \int_0^t \|A(s, u_n(s))\|_1 ds.$$

By (H1), there exist $C > 0$ and $M > 0$ reals such that

$$\int_0^t \|A(s, u_n(s))\|_1 ds \leq C \int_0^t \|u_n(s)\|_1 ds + a_0 M, \quad \forall \varepsilon > 0$$

Since $u_n(0) = \theta$, we have

$$\|u_n(t)\|_1 \leq a_0(M + \varepsilon) + C \int_0^t \|u_n(s)\|_1 ds, \quad \forall \varepsilon > 0$$

By the Gronwall inequality, we have

$$\|u_n(t)\|_1 \leq a_0(M + \varepsilon)e^{Ct} \leq a_0(M + \varepsilon)e^{Ca_0} = M_0$$

Therefore $(u_n(t))_{n \geq 1}$ is uniformly bounded. For $t, t' \in [0, a_0]$, we have

$$\begin{aligned} \|u_n(t) \ominus_H u_n(t')\|_1 &= \left\| \int_{t'}^t A(s, u_n(s)) ds \right\|_1 \\ &\leq \int_{t'}^t \|A(s, u_n(s))\|_1 ds \\ &\leq |t - t'| (CM_0 + M). \end{aligned}$$

For $\delta > 0$ such that $|t - t'| < \delta$ and $\delta < \frac{\varepsilon}{CM_0 + M}$, we have

$$\|u_n(t) \ominus_H u_n(t')\|_1 < \varepsilon.$$

Thus $(u_n(t))_{n \geq 1}$ is equi-continuous.

Let $N > 0$ in $\mathbb{N}$, $t \in [0, a_0]$ and define $B_N(t) = \{u_n(t) : n \geq N\}$. Then $B_N(0) = \theta$ and $B_N([0, a_0])$ is bounded. Let $w(t) = \beta(B_N(t))$, then $w(t)$ is continuous.

Indeed, by the property (b)(ii) of β , we have, for all $n \geq N$

$$\begin{aligned}
 \beta(\{u_n(t)\}) - \beta(\{u_n(s)\}) &\leq \beta(\{u_n(t) \ominus_H u_n(s)\}) \\
 &= \beta(|t - s| \odot A(s, u_n(s))) \\
 &= \beta(|t - s| \odot A(s, B_N(s))) \\
 &\leq |t - s| K \beta(B_N([0, a_0])).
 \end{aligned}$$

Since $B_N([0, a_0])$ is a bounded set, there exists $d_0 > 0$ such that $\beta(B_N([0, a_0])) \leq d_0$. Therefore

If $|w(t) - w(s)| \leq |t - s| K d_0$

Hence $\delta < \frac{\varepsilon}{K d_0 + 1}$, and $|t - s| < \delta$, we have $|w(t) - w(s)| < \varepsilon$, for all $\varepsilon > 0$

Now $\frac{w(t+h) - w(t)}{h}$ and $\frac{w(t) - w(t-h)}{h}$ are well defined for all $h > 0$ such that $[t-h, t+h] \subset [0, a_0]$.

Let

$$D_- w(t) = \lim_{h \rightarrow 0^+} \inf \frac{w(t) - w(t-h)}{h}.$$

Then

$$\begin{aligned}
 D_- w(t) &= \lim_{h \rightarrow 0^+} \inf \beta\left(\frac{1}{h} \odot [u_n(t) \ominus_H u_n(t-h)]\right), \quad \forall n \geq N. \\
 &= \lim_{h \rightarrow 0^+} \inf_{n \geq N} \left\{ \frac{1}{h} \beta(h \odot A(t-h, u_n(t-h))) \right\} \\
 &\leq \beta(\{(u_n)'_{gH}(t)\}), \quad \forall n \geq N.
 \end{aligned}$$

Let us choose $h > 0$ such that $I_h = [t-h, t] \subset [0, a_0]$ and $\beta(u_n(I_h)) < \varepsilon_n$ for all $n \geq N$ and $\varepsilon_n \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$, then

$$\beta(B_N(I_h)) \leq \beta(A(I_h \times B_N(I_h)) \oplus u_n(I_h)) \leq \beta(A(I_h \times B_N(I_h))) + \beta(u_n(I_h)) \leq K \beta(B_N(I_h)) + \varepsilon_n$$

Using the equicontinuity of $(u_n(t))_{n \geq 1}$, we have $B_N(I_h) \rightarrow B_N(t)$ as $h \rightarrow 0^+$ with respect to the Hausdorff distance D_∞ . Therefore :

$$D_- w(t) \leq K w(t) + \varepsilon_n, \text{ for all } n \geq N$$

Integrating over $[0, t]$ for all $t \in [0, a_0]$, and taking into account that $w(0) = 0$, we have

$$w(t) \leq \int_0^t K w(s) ds + \varepsilon_n a_0$$

Applying the Gronwall inequality, we have

$$w(t) \leq \varepsilon_n a_0 e^{K a_0}$$

Since $\varepsilon_n \rightarrow 0$ as $n \rightarrow \infty$, we have

$$\beta(\{u_n(t)\}) \rightarrow 0 \text{ as } n \rightarrow \infty$$

Thus $(u_n(t))_{n \geq 1}$ is relatively compact. Taking a subsequence, if necessary, we may assume that $(u_n(t))_{n \geq 1}$ converges to $u(t) \in E^1$.

Let $B \subset B(\theta, \rho)$ be a bounded set, using (H1) in B , we have

$$\begin{aligned}
 ||A(s, u_n(s))||_1 &\leq C ||u_n(s)||_1 + M \\
 &\leq c \rho + M = M_\rho
 \end{aligned}$$

for all $n \geq N$, and $s \in [0, a_0]$ such that $u_n(s) \in B$. By (9) we have

$$u_n(t) = u_0 \oplus \int_0^t A(s, u_n(s)) ds.$$

Using the fuzzy dominate convergence (see e.g. [10]) we have

$$u(t) = u_0 \oplus \int_0^t A(s, u(s)) ds, \quad t \in [0, a_0]$$

Assume that

(H4) $A : I \times X \rightarrow X$ is locally-Lipschitz continuous on u . We have

Theorem 3.10.

Assume that A satisfies (H1), (H3) and (H4), then (9) has at least one solution on $[0, a_0]$.

Proof.

By Theorem 3.7, it suffices to show that (H4) implies (H2). Let $L > 0$ be the Lipschitz constant of A and B be a bounded set in X . Let $\{E_j\}_{j=1}^N$ a finite covering of B of diameter d_j and $d = \inf_j d_j$. Then, for all $u_1, u_2 \in B$, $\|u_1(t) \ominus_H u_2(t)\|_1 \leq d$ and $\|A(t, u_1(t)) \ominus_H A(t, u_2(t))\|_1 \leq L\|u_1(t) \ominus_H u_2(t)\|_1 \leq Ld$.

Hence $\beta(A(I \times B)) \leq L\beta(B)$.

Therefore, if we choose $L = K$, we have $\beta(A(I \times B)) \leq K\beta(B)$. Hence (H2) and we are done.

4 APPLICATIONS TO FUZZY NONLINEAR EVOLUTION EQUATIONS

4.1 GENERALIZED HUKUHARA PARTIAL DERIVATIVES

Definition 4.1. [1]

A fuzzy valued function of two variables is a relation that assigns to each ordered pair of real number in a set $D \subset \mathbb{R}^2$, a unique fuzzy number denoted by $f(x, t)$. The set D is then the domain of f and $R_f \subset E^1$ such that $R_f = \{f(x, t) \mid (x, t) \in D\}$ is the range of f .

The α -level set for f is represented by $[f(x, t)]_\alpha = [f_\alpha^-(x, t), f_\alpha^+(x, t)]$, for all $\alpha \in [0, 1]$ and $(x, t) \in D$. Note that f_α^- and $f_\alpha^+ \in \mathbb{R}$.

Definition 4.2. [1]

Let $f : D \rightarrow E^1$ be a fuzzy valued function of two variables. We say that $L \in E^1$ is the limit of $f(x, t)$ as $(x, t) \rightarrow (x_0, t_0)$ if for every $\varepsilon > 0$, there is $\delta(\varepsilon) > 0$ such that if $(x, t) \in D$ with $\|(x, t) - (x_0, t_0)\| < \delta$, then $\|f(x, t) \ominus_{gH} L\|_1 < \varepsilon$.

Definition 4.3. [1]

A fuzzy valued function $f : D \rightarrow E^1$ is fuzzy-continuous at $(x_0, t_0) \in D$ if $\lim_{(x, t) \rightarrow (x_0, t_0)} f(x, t) = f(x_0, t_0)$. f is fuzzy-continuous on D if it is fuzzy-continuous at each point of D .

Definition 4.4. [1]

Let $f : D \rightarrow E^1$ be a fuzzy valued function. If $f_\alpha^-(x, t)$ and $f_\alpha^+(x, t)$ are differentiable with respect to x and t , then we say that $f(x, t)$ is $(I - gH)$ -derivable with respect to x if

$$\partial_{xI-gH} [f(x, t)]_\alpha = [\partial_x f_\alpha^-(x, t), \partial_x f_\alpha^+(x, t)]$$

(I – PgH)–derivable with respect to t if

$$\partial_{tI-gH} [f(x, t)]_\alpha = [\partial_t f_\alpha^-(x, t), \partial_t f_\alpha^+(x, t)]$$

(II – PgH)–derivable with respect to x if

$$\partial_{xI-gH} [f(x, t)]_\alpha = [\partial_x f_\alpha^+(x, t), \partial_x f_\alpha^-(x, t)]$$

(II – PgH)–derivable with respect to t if

$$\partial_{tI-gH} [f(x, t)]_\alpha = [\partial_t f_\alpha^+(x, t), \partial_t f_\alpha^-(x, t)]$$

We assume that $\partial_x f(x, t)$ is $(P - gH)$ –derivable at every $(x, t) \in D$ without switching point throughout the section. We have the following definition.

Definition 4.5. [1]

$\partial_{xgH} f(x, t)$ is

(I – PgH)–derivable with respect to x if for all $(x, t) \in D$

$$\partial_{xxI-gH} [\partial_x f(x, t)]_\alpha = [\partial_{xx} f_\alpha^-(x, t), \partial_{xx} f_\alpha^+(x, t)] \quad (12)$$

(II – PgH)–derivable with respect to x if for all $(x, t) \in D$

$$\partial_{xxII-gH} [\partial_x f(x, t)]_\alpha = [\partial_{xx} f_\alpha^+(x, t), \partial_{xx} f_\alpha^-(x, t)] \quad (13)$$

Lemma 4.6. [1]

Let $f: D \rightarrow E^1$ be a fuzzy-continuous. If f is $(P - gH)$ –derivable with respect to t , without switching point on $[a, \tau] \subset [a, b] \subset \mathbb{R}$ with fuzzy-continuous derivative, then

$$\int_a^\tau \partial_{sP-gH} f(x, s) ds = f(x, \tau) \ominus_{gH} f(x, a) \quad (14)$$

4.2 CAUCHY-KOWALESKYA THEOREMS

Let $u: D \subset \mathbb{R} \times \mathbb{R}_+ \rightarrow E^1$ be a fuzzy valued function, and define a fuzzy differential relation on D by

$$\partial_{t_{gH}} u(x, t) = k \odot \partial_{xx_{gH}} u(x, t) \oplus g(u(x, t)) \quad (15)$$

where $g: E^1 \rightarrow E^1$ is a nonlinear fuzzy function with fuzzy variable. We use the following initial value

$$u(x, 0) = u_0 \in E^1$$

Let $X = (E^1, \|\cdot\|)$, where $\|u\| = D_\infty(u, \sim 0)$. We define a fuzzy operator A by

$$D(A) = \{u \in X: \partial_{xgH} u, g(u) \in X\}$$

with

$$Au(x, t) = k \odot \partial_{xx_{gH}} u(x, t) \oplus g(u(x, t)), \quad k \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$$

We consider the Cauchy Problem

$$\begin{aligned} \dot{u}(t) &= Au(t) \quad t \in I \subset \mathbb{R}, \quad I =]0, a_0[, \quad a_0 > 0 \\ u(0) &= u_0, \end{aligned} \quad (16)$$

where $\dot{u}(t) = \partial_{t g H} u(x, t)$.

We assume that g satisfies the following assumptions.

(G1) $g : X \rightarrow X$ is locally Lipschitz-continuous.

(G2) There exists $M_0 > 0$ and $C > 0$ such that

$$||g(u)|| \leq C ||u|| + M_0.$$

Lemma 4.7.

If (G1) and (G2) hold, then (H1) and (H2) are satisfied.

Proof.

Set $k = 1$ in (15), then we have

$$\begin{aligned} Au(t) &= A(t, u(x, t)) \\ &= D_{xx}u \oplus g(u), \end{aligned}$$

where $D_{xx} = \partial_{xxgH}$. The α -level set of $Au(t)$ is given by $[Au(t)]_\alpha = [A_\alpha^- u(t), A_\alpha^+ u(t)]$ where

$$A_\alpha^- u(t) = (D_{xx}u \oplus g(u))_\alpha^- = (D_{xx}u)_\alpha^- + g_\alpha^-(u)$$

and

$$A_\alpha^+ u(t) = (D_{xx}u \oplus g(u))_\alpha^+ = (D_{xx}u)_\alpha^+ + g_\alpha^+(u)$$

We observe that $(D_{xx}u)_\alpha^-$ and $(D_{xx}u)_\alpha^+$ are linear and continuous for all $\alpha \in [0, 1]$ and $u \in B$, where $B \subset B(\delta, \rho)$ is a bounded set. Let C_0^- and C_0^+ be such that $|(D_{xx}u)_\alpha^-|_\infty \leq C_0^-$ and $|(D_{xx}u)_\alpha^+|_\infty \leq C_0^+$.

Therefore

$$||D_{xx}u|| = \sup_{\alpha} \max (|(D_{xx}u)_\alpha^-|_\infty, |(D_{xx}u)_\alpha^+|_\infty) \leq C_0$$

Where $C_0 = \max\{C_0^-, C_0^+\}$, and by (G1), we have

$$||Au(t)|| \leq ||D_{xx}u|| + ||g(u)|| \leq C_0 + C ||u|| + M_0$$

Let $M = C_0 + M_0$, then $M > 0$ and $||Au(t)|| \leq C ||u|| + M$. Hence (H1) holds.

Let $C > 0$ be the Lipschitz constant of g and $B \subset X$ be a bounded set with finite cover $\{E_j\}_{j=1}^N$ of diameter d_j , $j = 1, 2, \dots, N$. Let $d = \inf d_j$, then for all u_1 and $u_2 \in B$, we have

$$||u_1(t) \ominus_{gH} u_2(t)|| \leq d$$

and

$$||g(u_1) \ominus_{gH} g(u_2)|| \leq C ||u_1(t) \ominus_{gH} u_2(t)|| \leq Cd.$$

Since $\|D_{xx}u\| \leq C_0$ for all $u \in B$, we have

$$\|D_{xx}u_1 \ominus_{gH} D_{xx}u_2\| = \|D_{xx}(u_1 \ominus_{gH} u_2)\| \leq C_0$$

where C_0 depends on d . Let us choose $C_0 > 0$ such that $C_0 = \rho d$. Then

$$\|Au_1(t) \ominus_{gH} Au_2(t)\| \leq \rho d + Cd = (\rho + C)d.$$

Hence $\beta(A(B))$ is well defined and $\beta(A(B)) \leq K\beta(B)$, where $K = \rho + C > 0$. Hence, (H2) holds.

Using Theorem 3.7 and Lemma 4.7, we have:

Theorem 4.8.

Assume (G1), (G2) and (H3) hold, then (16) has at least one solution on $I = [0, a_0] \subset \mathbb{R}$, $a_0 > 0$.

Consider now the equations

$$\text{and} \quad \partial_{tqH} u = F(t, u, \partial_{xqH} u) \quad (17)$$

$$u(x, 0) = u_0(x) \in E^1 \quad (18)$$

Assume that :

(F1) F is locally Lipschitz continuous with respect to the second and the third variables. That is, there exists $L > 0$ such that for all $u_1, u_2 \in V$ and $V \subset E^1$ an open set

$$\begin{aligned} & \|F(t, u_1, \partial_x u_1) \ominus_{gH} F(t, u_2, \partial_x u_2)\|_1 \\ & \leq L(\|u_1 \ominus_{gH} u_2\|_1 + \|\partial_x u_1 \ominus_{gH} \partial_x u_2\|_1). \end{aligned}$$

(F1) There exist $C_1 > 0$, $C_2 > 0$ and $M > 0$ reals such that

$$\|F(t, u, \partial_x u)\|_1 \leq C_1 \|u\|_1 + C_2 \|\partial_x u\|_1 + M$$

Using Theorem 3.7, we have:

Corollary 4.9.

Assume (F1), (F2) and (H3) hold, then the initial value problem (17)-(18) has at least one solution on $[0, a_0] \subset \mathbb{R}$

REFERENCES

- [1] T. Allahviranloo, Z. Gouyandeh, A. Armand, A. Hasanoglu, On fuzzy solution for heat equation based on generalized hukuhara differentiability, *Fuzzy Sets and Systems*, 265 (2015), 1-23.
- [2] B. Bede and L. Stefanini, Generalized differentiability of fuzzy valued functions, *Fuzzy sets and Systems* 230 (2013), 119-141.
- [3] K. Deimling, *Nonlinear functional Analysis*, Springer-Verlag N.Y. (1984).
- [4] M. Ghisi, The Cauchy-Kowalesky Theorem and non compactness measure, *J. Math. Sci. Univ. Tokyo*, 4 (1997), 627-647.
- [5] V. Lakshmikantham and S. Leela, *Nonlinear Differential equations in Banach spaces*, Pergamon-Press, N.Y. (1990).
- [6] V. Lakshmikantham and R.N. Mohapatra, *Theory of Fuzzy Differential Equations and Inclusion*, Series in Mathematics Analysis and Application. Vol 6, Taylor and Francis, London (2003).
- [7] L. Stefanini and B. Bede, Generalized Hukuhara differentiability of interval-valued function and interval differential equations, *Nonlinear Analysis, Theory Methods and applications*, 71 (34) (2009), 1311-1328.
- [8] A. Taghavi and M. Mehdizadeh, Adjoint Operator in Fuzzy Normed linear spaces, *J. of Math and Comp. Sciences*, 2 (3) (2011), 453-458.
- [9] R. Walo Omana, Proof of a local existence and Peano-like Theorem for fuzzy differential equations, *Proceeding of the 5th international Workshop on contemporary problems in Math. physics*, Cotonou (2007).
- [10] R. Walo Omana, D. Kumwimba Seya and R. Mabela Metendo, Integration of a fuzzy setvalued function with respect to a fuzzy density measure, *Far East Journal of Mathematical Science*, 100 (6) (2016), 837-853.

Usages ethnobotaniques des plantes par les populations de la Sous-Préfecture de Gonaté (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Ethnobotanical uses of plants by populations of Gonate County, Central-West of Côte d'Ivoire]

Dro Bernadin^{1,2}, Coulibaly Siendou¹, Kouassi Konan Marius¹, and Salla Moreto¹

¹UFR AGROFORESTERIE, Université Jean Lorougnon GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire

²Conservation et Valorisation des Ressources Naturelles, Centre suisse de Recherches Scientifiques, Daloa, 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: This study was carried out to identify categories of ethnobotanical uses of plant in six localities of Gonate county, Central Western Cote d'Ivoire. An ethnobotanical survey based on semi-structured interviews was performed with 165 interviewees. Forty-four plants species including 42 genera and 27 families were recorded. The most used families were Euphorbiaceae, Verbenaceae and Anacardiaceae while Microphanerophyts (26.86%) were the most represented biological types. Plants are specially collected from fields, along the tracks, Forests, markets, and neighboring villages. Populations mainly used plants in four fields. There were Food (45.56%), the most important, Pharmacopoeia (27.98%), Energy (15.11%) and Handicrafts (11.35%). Overall, *Tectona grandis* was the most used plant with a citation index (IC) of 58.79%. Twenty-four 24 plants including *Dioscorea alata* (IC = 46.06%), *Manihot esculenta* (IC = 42.42%), *Mangifera indica* (IC = 38.18%) and *Ceiba pentandra* (IC = 36.97%) were moderately used. Regarding Pharmacopoeia field, the pathologies treated with plants were diarrhea, dysentery, stomach aches, ulcers, and abdominal pains, hemorrhoids, infertility and sexual transmitted diseases. These data could help studies to promote and develop conservation strategies for these useful resources.

KEYWORDS: Useful plants, Fields of use, Valorisation, Natural resources, Cote d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a été réalisée pour connaître les principales catégories d'usages ethnobotaniques des plantes dans la Sous-Préfecture de Gonaté en Côte d'Ivoire. Une enquête ethnobotanique basée sur des interviews semi-structurés a été conduite auprès de 165 personnes réparties dans six localités. Elle a permis d'identifier 44 espèces réparties 42 genres et en 27 familles utilisées par les populations interviewées. Les Euphorbiaceae, les Verbenaceae et les Anacardiaceae sont les familles les plus utilisées des populations enquêtées. Les types biologiques dominants sont les Microphanérophytes (26,86 %). Les principaux lieux d'approvisionnement sont les champs, le long des pistes, la forêt, les marchés et les villages voisins. Ces plantes sont essentiellement utilisées dans les domaines de l'Alimentation (45,56%), le plus important suivi dans l'ordre de la Pharmacopée (27,98%), l'Energie (15,11%) et l'Artisanat (11,35 %). Dans l'ensemble, *Tectona grandis* est la plante la plus utilisée avec une fréquence de citation (FC) de 58,79%. Vingt-quatre 24 plantes dont *Dioscorea alata* (FC = 46,06%), *Manihot esculenta* (FC = 42,42%), *Mangifera indica* (FC = 38,18%) et *Ceiba pentandra* (FC = 36,97%) sont moyennement utilisées. Les principales affections traitées dans le domaine de la pharmacopée sont la diarrhée, la dysenterie, les maux d'estomac, les douleurs abdominales, les hémorroïdes, l'infertilité et les maladies sexuellement transmissibles. Ces données pourraient aider aux études de valorisation et de développement des stratégies de conservation en faveur de ces ressources de valeur.

MOTS-CLEFS: Plantes utilitaires, Domaines d'usage, Valorisation, Ressources naturelles, Cote d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Depuis longtemps, l'homme entretient des rapports riches et diversifiés avec les plantes [1]. Ces rapports sont perceptibles dans divers domaines dont, entre autres, la santé (humaine et animale), l'alimentation, l'énergie, la construction et l'industrie [2]. En effet, l'homme utilise les plantes, de manière permanente, pour ses besoins de tous ordres. Cela montre l'importance indéniable des végétaux dans la vie de l'homme.

Malheureusement, ces plantes sont soumises à une pression anthropique de plus en plus croissante créant ainsi une dégradation voire une destruction de certains taxons à diverses échelles [3]. Les populations et même les aires de répartition de certaines plantes de valeur s'en trouvent sérieusement affectées. Les actions de l'homme restent les principaux facteurs de menace de la flore partout dans le monde. En Côte d'Ivoire, par exemple cette dégradation provoque une modification profonde de la couverture végétale nationale. Le taux de déforestation, déjà très élevé, évolue de façon inquiétante, sur tout le territoire ivoirien [4]. La couverture forestière ivoirienne est passée de 16 millions d'hectares de forêts avant l'indépendance à moins de 4 millions d'hectares aujourd'hui.

Ce reste qui ne représente que moins de 13% du territoire national est d'ailleurs en constante dégradation. Ce taux est bien en deçà de l'objectif de 20% de la surface nationale affiché par le Gouvernement ivoirien. La déforestation est une préoccupation pour tout le pays. Elle constitue une menace importante pour plusieurs espèces dont certaines pourraient disparaître si des actions ne sont pas engagées en leur faveur [5]. Mais, un préalable au développement des stratégies est la connaissance des principales utilisations de ces ressources en vue de définir les priorités en la matière.

Cette étude a été réalisée pour déterminer les principaux domaines d'usages ethnobotaniques des plantes par les populations de la Sous-Préfecture de Gonaté afin de mieux gérer ces ressources.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA SOUS-PRÉFECTURE DE GONATÉ

Cette étude a été réalisée dans la Sous-Préfecture de Gonaté (Figure 1) située dans la région du Haut Sassandra, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire entre le 6° 54' 15" de latitude Nord et le 6° 14' 36" de Longitude Ouest [6]. Elle est limitée par les villes de Daloa (à l'Ouest) et Bouaflé (à l'Est), Bédiala (au Nord) et Gadouan (au Sud). La température moyenne annuelle est de 26,3°C. Les mois de novembre et mai sont les plus secs avec les températures moyennes respectives de 26,2 et 27,9 °C [5]. Le climat est de type équatorial humide à quatre saisons à savoir deux pluvieuses et deux sèches. La végétation est celle du secteur mésophile [7]. Elle est homogène et constituée de forêt dense, au Sud, et de savane arborée, au nord [8].

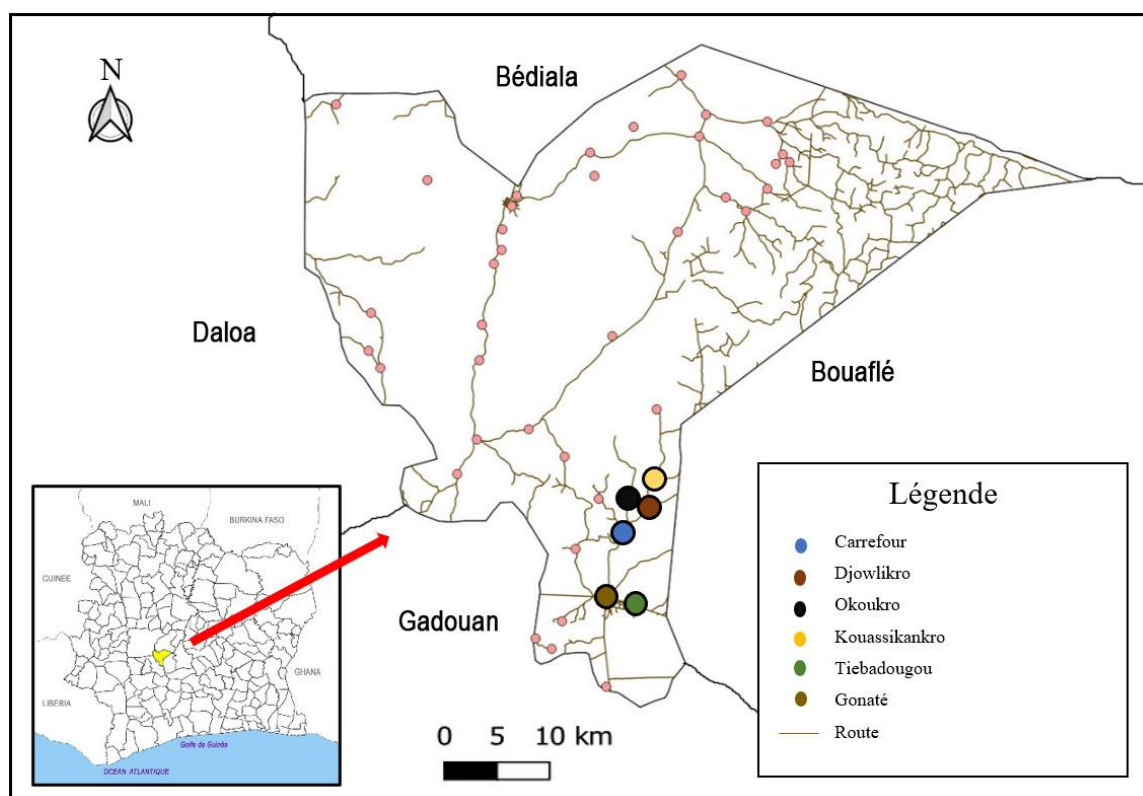


Fig. 1. Carte de la Sous-Préfecture de Gonaté

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

2.2.1 CHOIX DES SITES D'ÉTUDE

Une prospection basée sur des visites de terrain d'une durée de 15 jours a été réalisée dans des localités de la Sous-Préfecture de Gonaté. Cette étape visait à obtenir des informations générales sur l'usage des plantes et à sélectionner les localités d'étude. Les critères de choix des localités étaient essentiellement basés sur la taille et l'accessibilité de la localité et l'usage des plantes. Ainsi, six localités ont été retenues. Il s'agit de la ville de Gonaté et les villages de Tiebadougou, Carrefour, Djowlikro, Okoukro et Kouassikankro.

2.2.2 ELABORATION DE LA FICHE D'ENQUÊTE

Une fiche d'enquête ethnobotanique de deux pages comportant deux volets a été conçue pour la collecte des données. Le premier volet a concerné le profil sociodémographique des enquêtés. Les informations recherchées sont, entre autres, le nom de l'informateur, le genre, l'âge, le niveau scolaire, la situation matrimoniale, le nombre d'enfants à charge, le nombre d'années d'habitation dans la localité et l'activité principale. Le second volet a été consacré à la connaissance des espèces végétales utilisées par les populations. Les questions ont porté sur, entre autres, le nom local de la plante, le lieu de prélèvement, les organes utilisés, la fréquence d'utilisation, le domaine d'utilisation et le mode d'utilisation.

2.2.3 CONDUITE DES ENQUÊTES ETHNOBOTANQUES

Les enquêtes ethnobotaniques ont été conduites, dans chaque localité choisie, auprès des populations sur la base du questionnaire au cours des entretiens semi-structurés. Elles se sont déroulées dans divers endroits où l'utilisation des plantes est perceptible. Ce sont, entre autres, les ménages, les champs, les buvettes et les marchés. La population cible est constituée de toute personne ayant plus de 20 ans. A cet âge, ces personnes développent déjà une connaissance de l'usage des plantes et peuvent mieux en parler [9]. Les entretiens se sont déroulés généralement en français et dans la langue locale de l'enquêté. L'intervention d'un interprète a été parfois nécessaire chaque fois que l'informateur ne pouvait pas s'exprimer en français. Cela a créé, au cours des entretiens, une relation de confiance avec les informateurs permettant ainsi de mieux collecter les

informations recherchées. Les échantillons de toutes les espèces citées par les populations ont été récoltés puis transportés frais ou séchés au laboratoire de Botanique de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour identification.

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

2.3.1 TYPES BIOLOGIQUES

Le type biologique de [10] a été utilisé pour connaître le comportement des végétaux au cours des différentes saisons climatiques. Pour cette étude, huit types biologiques ont été retenus. Il s'agit des géophytes (G), des mégaphanérophytes (MP), des mésophanérophytes (mP), des microphanérophytes (mp), des nanophanérophytes (np), des lianes (L) et des hémicryptophyte (H).

2.3.2 FRÉQUENCE DE CITATION

La fréquence de citation (FC) de chacun des taxons a été utilisée pour identifier le niveau d'utilisation des plantes par les populations enquêtées. Elle a été calculée par la formule suivante de [11]:

$$FC = \frac{n_i}{N} \times 100$$

FC : Fréquence de citation

n_i : nombre de personnes ayant cité l'espèce

N : Nombre de personnes ayant cité l'espèce

Nous avons adopté la même échelle que ces auteurs. Ainsi lorsque $FC > 50\%$, l'espèce est dite majoritairement utilisée, $FC = 50\%$, elle est moyennement utilisée et $FC < 50\%$, elle est minoritairement utilisée.

2.3.3 VALEUR D'USAGE ETHNOBOTANIQUE

La valeur d'usage ethnobotanique a permis de connaître le score moyen d'utilisation de chaque espèce au sein d'une catégorie d'usage. Elle a été calculée à l'aide de la formule de [12].

$$VU = \frac{n_i}{N} \times 100$$

VU : valeur d'usage ethnobotanique,

n_i : nombre de citation d'une espèce,

N : nombre totale de citations des espèces

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 PROFIL SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES POPULATIONS

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 165 personnes réparties en 110 hommes (66,67 %) et 55 femmes (33,33 %). Les hommes sont nettement majoritaires. Les personnes âgées de 30 à 40 ans sont majoritairement impliquées dans l'utilisation des plantes dans la Sous-Préfecture de Gonaté. Elles représentent 43,03% des enquêtés (Figure 2). Elles sont suivies de celles dont l'âge varie entre 40 et 50 ans qui sont représentés par 54 personnes, soit 32,73 % des informateurs. Trente-deux interviewés (soit 19,39 % des enquêtés) sont âgés de 20 et 30 ans. Les personnes de plus de 50 ans sont minoritaires avec seulement 5 personnes soit seulement 4,85 % des interviewés.

L'enquête ethnobotanique a montré une nette dominance des analphabètes (49,09% de l'effectif). Les niveaux primaires, secondaires et supérieurs suivent dans l'ordre avec respectivement 27,88%, 15,76 % et 7,27% des interviewés. Les populations enquêtées sont majoritairement agriculteurs (66,06% des personnes interrogées). Toutefois, 23,64% de la population enquêtée exercent des activités secondaires telles que la photographie, la coiffure, la maçonnerie, le commerce, la pêche et le ménage.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTATS

4.1.1 PROFIL SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES POPULATIONS

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 165 personnes réparties en 110 hommes (66,67 %) et 55 femmes (33,33 %). Les hommes sont nettement majoritaires. Les personnes âgées de 30 à 40 ans sont majoritairement impliquées dans l'utilisation des plantes dans la Sous-Préfecture de Gonaté. Elles représentent 43,03% des enquêtés (Figure 2). Elles sont suivies de celles dont l'âge varie entre 40 et 50 ans qui sont représentées par 54 personnes, soit 32,73 % des informateurs. Trente-deux interviewés soit 19,39 % des enquêtés sont âgés de 20 et 30 ans. Les personnes de plus de 50 ans sont minoritaires avec seulement 5 personnes soit seulement 4,85 % des interviewés.

L'enquête ethnobotanique a montré une nette dominance des analphabètes (49,09% de l'effectif). Les niveaux primaires, secondaires et supérieurs suivent dans l'ordre avec respectivement 27,88%, 15,76 % et 7,27% des interviewés. Les populations enquêtées sont majoritairement agriculteurs (66,06% des personnes interrogées). Toutefois, 23,64% de la population enquêtée exercent des activités secondaires telles que la photographie, la coiffure, la maçonnerie, le commerce, la pêche et le ménage.

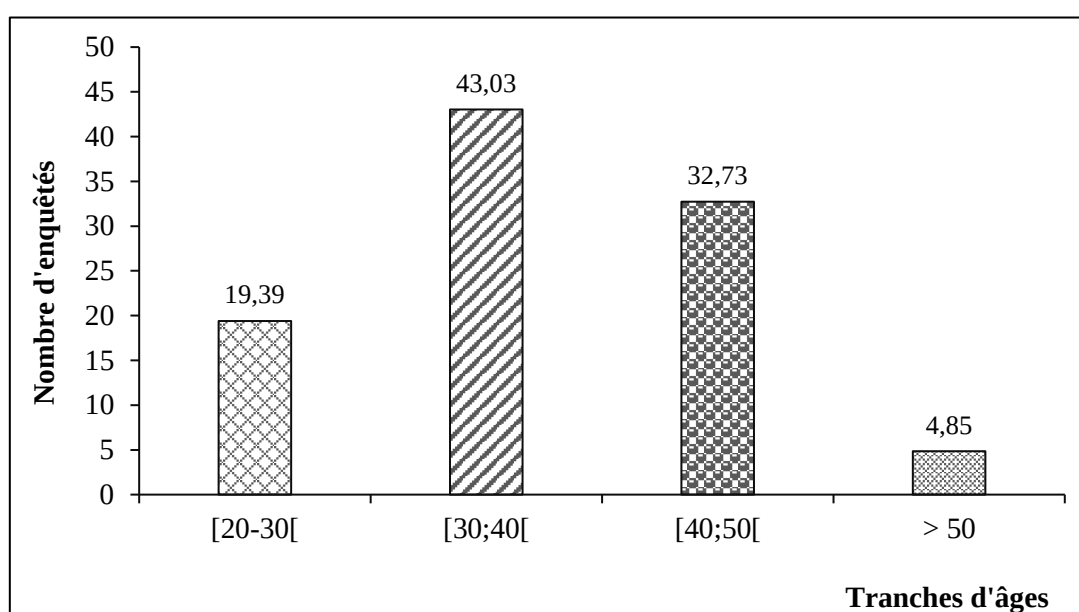


Fig. 2. Répartition par tranche d'âge des personnes interviewées

4.1.2 PLANTES UTILISÉES PAR LES POPULATIONS DE LA SOUS-PRÉFECTURE DE GONATÉ

L'enquête ethnobotanique a permis d'identifier 44 espèces végétales réparties en 42 genres et 27 familles (Tableau I) dans la Sous-Préfecture de Gonaté. Les Euphorbiaceae (83,03%), les Verbenaceae (58,79%) et les Anacardiaceae (50,30%) sont les familles majoritaires. Les principales espèces des Euphorbiaceae sont *Albizia lebbek* et *Alchornea cordifolia*. *Tectona grandis* est la seule représentante des Verbenaceae tandis que *Anacardium occidentale* et *Mangifera indica* représentent les Anacardiaceae. Les Sterculiaceae avec *Mansonia altissima*, *Triplochiton scleroxylon* et *Theobroma cacao* constituent la seule famille moyennement utilisée. Les Dioscoreaceae (FC = 46,06 %), les Solanaceae (FC= 45,45 %) et 25 autres familles sont minoritairement utilisées.

Tableau 1. Liste des plantes recensées dans la Sous-Préfecture de Gonaté

N°	Nom Scientifique	Famille	Domaines d'usages	Nombre de Citation	Fréquence de Citation (%)	Valeur d'usage total (%)	Types Biologiques	Types Chorologique
1	<i>Ageratum conyzoides</i> Linn.	Asteraceae	Pharmacopée	10	6,06	0,8	Th	GC-SZ
2	<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) W.F. Wright	Mimosaceae	Pharmacopée	10	6,06	0,8	mP	GC
3	<i>Albizia lebbek</i> (Linn.) Benth.	Euphorbiaceae	Pharmacopée	6	3,64	0,48	mp	GC-SZ
4	<i>Alchornea cordifolia</i> (Schum. & Thonn.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae	Pharmacopée	20	12,12	1,6	L	GC-SZ
5	<i>Anacardium occidentale</i> Linn.	Anacardiaceae	Alimentation, Energie, Pharmacopée	20	12,12	1,6	mp	i
6	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Meliaceae	Pharmacopée	25	15,15	2	mp	i
7	<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J. C. Wendel.	Poaceae	Artisanat, Pharmacopée	47	28,48	3,76	G	GC-SZ
8	<i>Blighia sapida</i> K. D. Koenig	Sapindaceae	Alimentation	15	9,09	1,2	mP	GC-SZ
9	<i>Caesalpinia bonduc</i> (Linn.) Roxb.	Caesalpinaceae	Pharmacopée	11	6,67	0,88	L	GC
10	<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait.f.	Asclepiadaceae	Pharmacopée	13	7,88	1,04	mp	GC-SZ
11	<i>Carica papaya</i> Linn. var. bady Aké Assi	Caricaceae	Pharmacopée	12	7,27	0,96	mp	GC
12	<i>Cassia occidentalis</i> Linn.	Caesalpinaceae	Pharmacopée	22	13,33	1,76	np	GC-SZ
13	<i>Ceiba pentandra</i> (Linn.) Gaerth.	Bombacaceae	Alimentation, Energie, Artisanat	61	36,97	4,88	MP	GC-SZ
14	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R. M. King & H. Rob.	Asteraceae	Pharmacopée	23	13,94	1,84	np	GC
15	<i>Coffea arabica</i> L.	Rubiaceae	Energie	36	21,82	2,88	mp	i
16	<i>Colocasia esculenta</i> (Linn.) Schott	Araceae	Alimentation	34	20,61	2,72	H	GC
17	<i>Combretum micranthum</i> G. Don	Combretaceae	Pharmacopée	10	6,06	0,8	mp	SZ
18	<i>Cucumeropsis mannii</i> Naudin	Cucurbitaceae	Alimentation	12	7,27	0,96	Th	GC-SZ
19	<i>Dioscorea alata</i> Linn.	Dioscoreaceae	Alimentation	76	46,06	6,08	G	i
20	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Arecaceae	Alimentation, Energie, Artisanat	60	36,36	4,8	mP	GC
21	<i>Gossypium arboreum</i> Linn. var. sanguineum	Malvaceae	Pharmacopée	9	5,45	0,72	np	i
22	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam	Convolvulaceae	Alimentation	57	34,55	4,56	L	i
23	<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill.	Irvingiaceae	Alimentation	13	7,88	1,04	MP	GC
24	<i>Jatropha curcas</i> Linn.	Euphorbiaceae	Pharmacopée	12	7,27	0,96	np	GC-SZ
25	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	Energie, Pharmacopée	63	38,18	5,04	mP	i
26	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Euphorbiaceae	Alimentation	70	42,42	5,6	mp	i
27	<i>Mansonia altissima</i> (A. Chev.) A. Chev var. altissima	Sterculiaceae	Pharmacopée	14	8,48	1,12	mP	GC
28	<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) Benth.	Moraceae	Artisanat	20	12,12	1,6	MP	GC
29	<i>Moringa oleifera</i> Lam	Moringaceae	Alimentation, Pharmacopée	30	18,18	2,4	mp	GC-SZ
30	<i>Musa paradisiaca</i> Linn.	Musaceae	Alimentation	40	24,24	3,2	G	i
31	<i>Musa sapientum</i> L.	Musaceae	Alimentation	30	18,18	2,4	G	i
32	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	Mimosaceae	Alimentation, Pharmacopée	38	23,03	3,04	mp	SZ
33	<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	Alimentation	12	7,27	0,96	mp	i
34	<i>Phyllanthus amarus</i> Schum. & Thonn.	Euphorbiaceae	Pharmacopée	18	10,91	1,44	np	GC
35	<i>Ricnodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre ex Pax	Euphorbiaceae	Alimentation	11	6,67	0,88	mP	GC
36	<i>Solanum distichum</i> Thonn. var. distichum	Solanaceae	Alimentation	54	32,73	4,32	np	GC-SZ

37	<i>Solanum torvum</i> Sw.	Solanaceae	Alimentation	21	12,73	1,68	np	GC
38	<i>Tamarindus indica</i> Linn.	Caesalpinaceae	Alimentation	10	6,06	0,8	mp	GC-SZ
39	<i>Tectona grandis</i> Linn.f.	Verbenaceae	Artisanat, Energie, Pharmacopée	97	58,79	7,75	mP	i
40	<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	Combretaceae	Artisanat	10	6,06	0,8	MP	GC
41	<i>Theobroma cacao</i> Linn.	Sterculiaceae	Energie	54	32,73	4,32	mp	i
42	<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	Sterculiaceae	Artisanat	13	7,88	1,04	MP	GC
44	<i>Zea mays</i> Linn.	Poaceae	Alimentation	20	12,12	1,6	Th	GC-SZ

mp*: Microphanérophytes, Th: Thérophyte, np: Nanophanérophytes, H: Hémicryptophyte, G: Géophytes, L: Lianes, mP: mésophanérophytes, MP: Mégaphanérophytes GC: la région Guinéo-Congolaise; GC-SZ: la région Guinéo-Congolaise et la région Soudano-Zambésienne; SZ: Taxon de la région Soudano-Zambésienne; i: Taxon introduit ou cultivé

4.1.2.1 FRÉQUENCE DE CITATION (FC) DES ESPÈCES

Les enquêtes ont montré que *Tectona grandis*, citée 97 fois soit une fréquence de citation (FC) de 58,79% est l'espèce majoritairement utilisée par les enquêtés. Cette espèce est connue pour ses multiples usages par les populations. Vingt-quatre autres espèces sont minoritairement utilisées (FC < 50%). Ce sont *Dioscorea alata* (FC = 46,06%), *Manihot esculenta* (FC = 42,42%), *Mangifera indica* (FC = 38,18 %) et *Ceiba pentandra* citée 61 fois (FC = 36,97%). Dans ce groupe, 19 espèces sont très minoritairement utilisées. Leur Fréquence de citation (FC) est inférieure à 10%. Ce sont, entre autres, *Blighia sapida* (FC = 9,09%), *Mansonia altissima* (FC = 8,48%), *Calotropis procera*, *Irvingia gabonensis* (FC = 7,88%) et *Triplochiton scleroxylon* (FC = 7,88%) et *Tamarindus indica* (FC = 6,06 %). Les principaux lieux d'approvisionnement sont dans l'ordre décroissant les champs, la brousse, les villages et les marchés.

4.1.2.2 TYPES BIOLOGIQUES DES ESPÈCES

Les types biologiques (figure 3) les plus dominants sont les Microphanérophytes avec 13 espèces soit 26,86 % des espèces citées. Ce type est suivi, dans l'ordre décroissant, par les Mésophanérophytes (22,54%), les Géophytes (15,43 %), les Géophytes (15 %), les Nanophanérophytes (12,71 %), les Mésophanérophytes (9,35 %), et les Lianes (7,03 %). Les Thérophytes avec 3 espèces (3,36 %) et les Hémicryptophytes avec une seule espèce (2,72 %) sont les plus minoritaires.

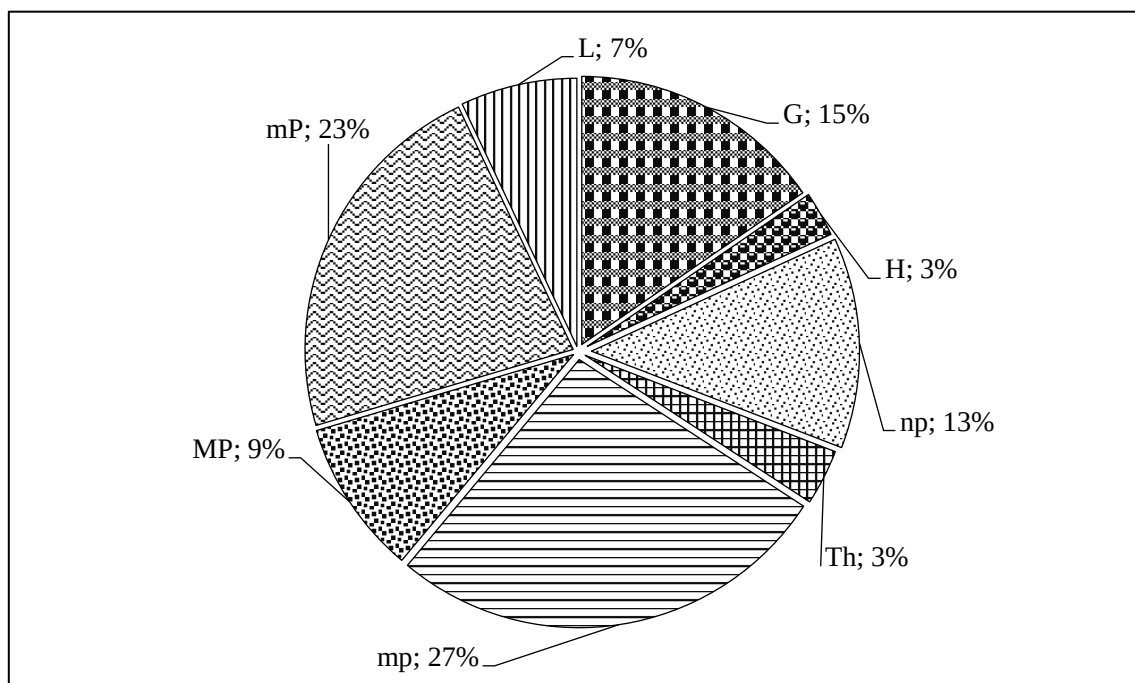


Fig. 3. Répartition des types biologiques selon les espèces citées

mp: Microphanérophytes, Th: Thérophyte, np: Nanophanérophytes, H: Hémicryptophyte, G: Géophytes, L: Lianes, mP: mésophanérophytes, MP: Mégaphanérophytes

4.1.3 DOMAINES D'UTILISATION DES PLANTES

Les populations de la Sous-Préfecture de Gonaté, pour satisfaire leurs besoins utilitaires, utilisent les plantes dans quatre domaines principaux. Ce sont l'alimentation, la pharmacopée, l'artisanat et l'énergie (Figure 4). L'alimentation (45,56%) est le domaine le plus important. Il est suivi par celui de la pharmacopée (27,98%) et de l'énergie avec (15,11%). Le domaine de l'artisanat est le moins important avec 11,35 % des espèces enregistrées.

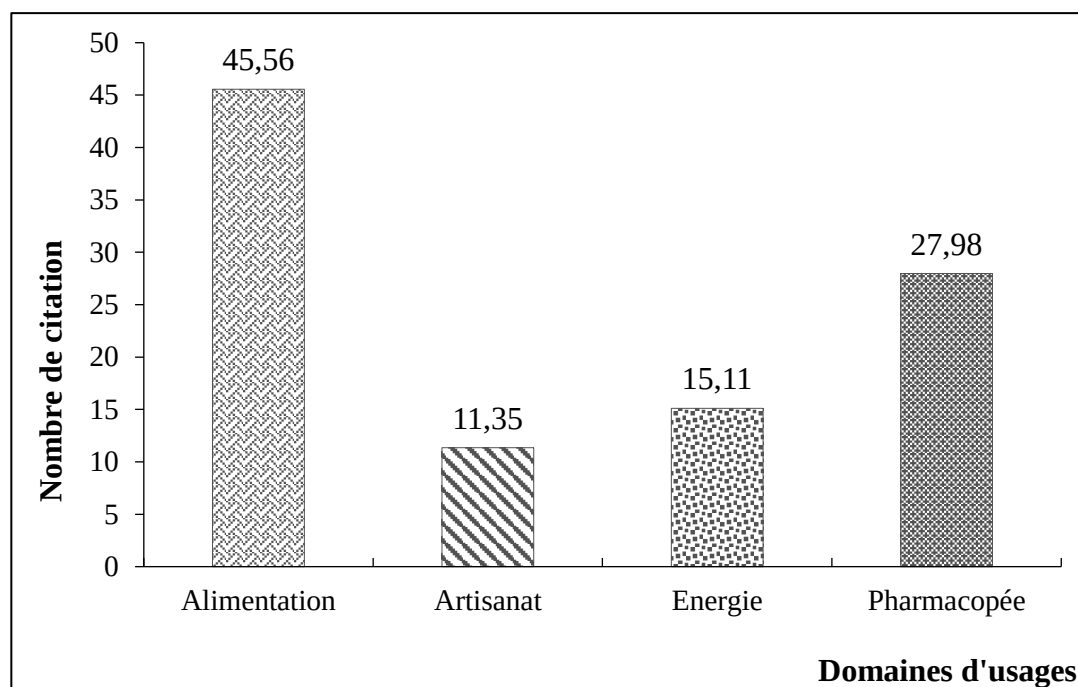


Fig. 4. Domaines d'utilisation des plantes par les populations

4.1.3.1 DOMAINE ALIMENTAIRE

Le domaine alimentaire regorge la majorité des plantes recensées pendant les enquêtes. *Dioscorea alata* est l'espèce la plus utilisée avec une fréquence de citation d'alimentaire (FCA) de 16%. Les tubercules de cette plante constituent la base du régime alimentaire des populations enquêtées. Elle est suivie des espèces moyennement utilisées telles que *Manihot esculenta* (FCA = 14,74%), et *Ipomoea batatas* (FCA = 12%) dont les tubercules sont également consommés, *Solanum distichum* (FCA = 11,37%), *Musa paradisiaca* (FCA = 8,42%), *Colocasia esculenta* (FCA = 7,16%), *Musa sapientum* (FCA = 6,32%) et *Solanum torvum* (FCA = 4,42%). Les espèces les moins consommées *Zea mays* (FCA = 4,21%), *Blighia sapida* (FCA = 3,16%), *Ricinodendron heudelotii* (FCA = 2,32%) et *Tamarindus indica* (FCA = 2,11%). *Tamarindus indica* est la seule plante la moins utilisée dans ce domaine.

4.1.3.2 DOMAINE DE LA PHARMACOPÉE

Seize plantes sont rigoureusement utilisées dans le domaine de la pharmacopée. Parmi celles-ci, *Azadirachta indica* est l'espèce la plus importante dans ce domaine avec une fréquence de citation dans la pharmacopée (FCP) de 11,01%. Elles diversement utilisée pour traiter diverses pathologies dont le paludisme. Les espèces moyennement utilisées sont *Chromolaena odorata* (FCP = 10,13%) dont les feuilles sont utilisées pour soulager les saignements, *Cassia occidentalis* (FCP = 9,69%), *Alchornea cordifolia* (FCP = 8,81%) et *Phyllanthus amarus* (FCP = 7,93%) utilisées pour traiter la diarrhée, la dysenterie, les maux d'estomac, les douleurs abdominales et les hémorroïdes. Ces plantes sont suivies de *Mansonia altissima* (FCP = 6,17%), *Calotropis procera* (FCP = 5,73%) et des *Carica papaya* (FCP = 5,29%). Les feuilles de *Jatropha curcas* (FCP = 5,29 %) sont utilisées pour des rituels mystiques. Ensuite, suivent les espèces minoritairement représentées telles que *Albizia adianthifolia* (FCP = 4,41 %) dont les feuilles sont utilisées pour traiter les problèmes de fertilité et les maladies sexuellement transmissibles, *Combretum micranthum* (FCP = 4,41 %), *Gossypium arboreum*, (FCP = 3,96 %) et *Albizia lebbek* (FCP = 2,64 %).

4.1.3.3 DOMAINE DE L'ÉNERGIE

Seulement deux espèces sont parfaitement utilisées dans le domaine de l'énergie. Il s'agit de *Coffea arabica* avec une fréquence de citation (FCE) de 40% et de *Theobroma cacao* (FCE = 60%). Dans ce domaine, les tiges sont les organes les plus utilisés.

4.1.3.4 DOMAINE DE L'ARTISANAT

Trois espèces sont entièrement utilisées dans l'artisanat. Il s'agit de *Milicia excelsa* avec une fréquence de citation artisanal (FCAr) de 46,51%, de *Triplochiton scleroxylon* (FCAr = 30,23%) et de *Terminalia superba* (FCAr = 23,26%). Elles constituent des matières premières dans le secteur de l'aménagement et de réhabilitation de certains bâtiments. Elles sont également utilisées dans la confection des œuvres d'art.

4.1.3.5 VALEUR D'USAGE ETHNOBOTANIQUE

Les valeurs d'usage totales (VUT) des espèces citées varient de 0,48 à 7,75%. *Tectona grandis* (VUT = 7,75%) est la plus utilisée. La décoction de ses feuilles en association avec celles de *Azadirachta indica* (VU = 2 %) traite efficacement le paludisme. Aucun organe de cette espèce n'est utilisé dans l'alimentation. *Dioscorea alata* (VUT = 6,08%), *Manihot esculenta* (VUT = 5,60%) et *Mangifera indica* (VUT = 5,04 %) sont utilisées toutes dans le domaine de l'énergie (VU = 1,13 %) et de la pharmacopée (VU = 3,91 %). *Ceiba pentandra* (VUT = 4,88 %) est utilisée dans le domaine alimentaire (VU = 1,68%), et de l'énergie (VU = 2 %). *Elaeis guineensis* possède une VUT de 4,8 % utilisée dans l'alimentation (VU = 2,79 %), et dans l'artisanat (VU = 1,45 %). Cependant, 14 autres espèces (VUT = 11,75 %) sont minoritairement utilisées par les personnes interrogées. Il s'agit, entre autres de *Gossypium arboreum* (VU = 0,72%) et *Albizia lebbek* (VU = 0,48%) utilisées pour traiter respectivement la diarrhée et l'asthme bronchique.

4.2 DISCUSSION

Cette étude a été réalisée pour identifier les utilisations des plantes dans la Sous-Préfecture de Gonaté. Pour cela, une enquête ethnobotanique a été conduite dans six localités. Elle a permis de caractériser le profil sociodémographique des populations de cette zone. Au total, 165 personnes répartis en 110 hommes soit (66,67 %) et 55 femmes ont été interrogées. L'enquête a montré que les hommes sont majoritaires. Ce résultat est dû au fait que durant l'étude les hommes ont été les plus disponibles à fournir les informations. Des résultats similaires ont été obtenus par [13] au Tchad. Cet auteur a rapporté que 91% des utilisateurs de plantes sont des hommes. Les femmes sont généralement dévolues aux tâches ménagères. Aussi, dans certaines communautés, elles ne sont pas autorisées à communiquer des informations sur la communauté. L'âge de ces acteurs est compris entre 30 à 40 ans. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait qu'ils détiennent des connaissances plus fiables des plantes. Ils disposent d'une bonne partie du savoir ancestral qui fait partie de la tradition orale [14]. Des résultats similaires ont été obtenus par [15]. La connaissance et l'application des plantes ainsi que leurs propriétés sont généralement acquises suite à une longue accumulation d'expérience et transmise d'une génération à une autre. L'enquête a montré que 49,09% des utilisateurs des plantes sont majoritairement sans niveau scolaire. Ce résultat diffère de [16] qui a rapporté que 94% des personnes utilisant les plantes au Mali ont un niveau primaire. Ce niveau est suivi par celui du primaire (27,88 %), secondaire (15,76 %) et supérieur (7,25%). Ce résultat montre que des personnes non instruites utilisent beaucoup les plantes pour leurs besoins à cause de leur proximité avec ces ressources naturelles et par manque d'autres activités alternatives. Il montre aussi que l'utilisation des plantes ne va pas de paire avec le niveau scolaire. En effet, des personnes héritent de plusieurs pratiques et connaissances sur des plantes de leurs parents et l'appliquent dans leur vie [15].

Ce travail a aussi montré que 44 espèces végétales réparties en 42 genres et appartenant à 27 familles sont utilisées par les populations de la Sous-Préfecture de Gonaté. La famille des Euphorbiaceae est la plus représentée avec une fréquence de citation (FC) de 83,03%. Ce résultat pourrait être dû au fait que les Euphorbiaceae sont parmi les familles les plus utilisées dans presque tous les besoins de l'homme ([17], [18] et [19]). Il soutient [20] qui a rapporté une forte représentativité (FC = 85%) de cette famille dans les formations végétales lors de ces études menées au Burkina Faso. Il a montré une nette dominance des phanérophytes (72%) incluant les microphanérophytes (FC = 26,86%). La forte représentativité des microphanérophytes parmi les plantes utilisées par les populations a été déjà rapportée, en Côte d'Ivoire, par [21], [22], [14] et, en Centrafricaine, par [23]. Les mésophanérophytes (22,54%) constituent le second type biologique dominant des plantes citées. Cela pourrait être dû à la forte capacité de dissémination par les animaux et à une faible abondance de prédateurs de semences [24]. En effet, ce mode de dissémination des espèces permet aux semences de se répandre sur de très grandes distances favorisant ainsi l'extension de l'espèce et la diversification de son patrimoine [25].

Les enquêtes ethnobotaniques ont permis d'identifier quatre types de domaines d'utilisations des plantes à savoir l'alimentation, la Pharmacopée, l'Energie et l'Artisanat. Cela montre une diversité d'utilisation des plantes dans la Sous-Préfecture de Gonaté. L'alimentation est le domaine d'utilisation le plus important. Ce résultat est similaire à [26] qui a rapporté l'importance de ce domaine en Colombie. Les organes des plantes les plus consommés sont les tubercules (FC = 37,71 %), les fruits (FC = 32,98 %) et les feuilles (FC = 5,6 %). Ces organes sont consommés pour la subsistance des populations.

Cette étude a montré que *Azadirachta indica* est la plante médicinale la plus utilisée par la population de Gonaté. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que toutes les parties (racines; écorces, feuilles, tige, fleurs, fruits) de la plante présente des vertus médicinales non négligeables connues par la population enquêtée. La décoction des feuilles, par exemple, est amère mais efficace contre l'obésité, le paludisme, la fièvre typhoïde, la fatigue générale, les maladies bactériennes. La plante est diversement utilisée pour soulager ou guérir plusieurs affections dont les maladies de la peau, le manque l'appétit, les plaies, les nausées, les ulcères, le diabète, l'hypertension et le cancer. Ces potentialités bénéfiques font d'elle la plante médicinale la plus utilisée dans les localités parcourues.

Les organes les plus important utilisées dans ce domaine, sont les feuilles (FC = 74,28%). Ce résultat serait dû à un fort taux d'accumulation des substances chimiques à but médicale dans les feuilles des plantes. [27] rapportent l'usage traditionnel des plantes dans le traitement des pathologies et [14] soulignent l'importance des organes et la diversité des modes de préparation dans le traitement des affections telles que la fièvre typhoïde, le palu, la grippe. Dans leurs travaux les feuilles sont les organes les plus utilisés à 60 % et la décoction (76%). La connaissance des plantes de la pharmacopée se transmet encore aujourd'hui malgré la fragilité du secteur de la médecine traditionnelle envahi par des personnes malveillantes [28].

5 CONCLUSION

L'étude a été réalisée pour identifier les domaines d'usages de plantes dans la Sous-Préfecture de Gonaté, en Côte d'Ivoire. Les enquêtes menées auprès de 165 personnes ont montré que les usagers des plantes sont majoritairement des hommes mariés, âgés de 30 à 40 ans, n'ayant aucun niveau scolaire avec l'agriculture comme principale activité. Les plantes utilisées par les populations comprennent 44 espèces réparties en 27 familles et à 42 genres. Les plantes utilisées proviennent majoritairement dans les champs puis de la brousse, des villages et des marchés. Les familles les plus représentées sont les Euphorbiaceae. Quatre domaines d'utilisation dont l'alimentation et la pharmacopée sont les plus importantes ont été identifiés. Ces données pourraient constituer une base de données intéressante pour le développement des stratégies de la conservation des plantes utilitaires de la flore ivoirienne.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Université Jean Lorougnon Guédé pour la mise l'assistance technique et les autorités des localités parcourues pour toutes les contributions.

FINANCEMENT

Ce travail a été entièrement soutenu par les auteurs. Il n'a bénéficié d'aucun financement extérieur.

REFERENCES

- [1] P. Kamari, A. M. Otaghvaria, H. Govindaparyi, M. Bahuguna and P. Uniyal, " Some ethno-medically important of India " International Medical Aromatic of Plant, no. 1, pp. 18-22, 2009.
- [2] G. Perumal, "Ethno-medicinal use of Pteridophyte from Kolli Hills, Namakkal District, Tamil Nadu " India Ethnobotanical Leaflets, no. 14, pp. 161-172, 2010.
- [3] C. Dadjo. Caractérisation ethnobotanique, morphologique et spatiale de *Vitex doniana* Sweet (Verbenaceae) au Sud-Bénin. Thèse d'Ingénieur Agronome; Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2011; 86.
- [4] FAO, Évaluation des ressources forestières mondiales 2015, Rome, 2015.
- [5] B. Dro, K. D. N'goran, S. Coulibaly, M. Salla, A. D-E. Amon and K. H. Kouassi, " Diversité floristique des Lianes de La forêt Classée De Bouaflé Centre-Ouest de La Côte D'Ivoire " European Scientific Journal, pp. 19-20, 2020.
- [6] R. Ligban, D. L. Gone, B. Kamagate, M. B. Saley and Biemi J, " Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa " Int. J. Biol. Chem. Sci, vol. 3, no. 1, pp. 38-47, 2009.
- [7] J. L. Guillaumet and E. Adjanohoun, La végétation In: le milieu naturel, Côte D'Ivoire, pp. 157-263, 1971.

- [8] O. A. Adjiri, N. Aka, T. D. Soro, A. C. Afessi, D. Konaté and N. Soro, "Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa: impacts sur la santé et implications dans le développement régional" *Astee-tsm*, no. 12, pp. 89-114, 2018.
- [9] R. Mehdioui and A. Kahouadji, "Etude ethnobotanique auprès de la population riveraine de la forêt d'Amsittène: cas de la Commune d'Imi n'Tlit (Province d'Essaouira)" *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, no. 29, pp. 11-20, 2007.
- [10] C. Raunkiaer, *The life form of plants and statistical plant geography*. Clarendon press, Oxford, pp. 632, 1934.
- [11] E. H. Gbekley, D. S. Karou, C. Gnoula, K. Agbodeka, K. Anani, T. Tchacondo, A. Agbonon, K. Batawila and J. Simporé, "Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans la médecine traditionnelle de la région Maritime du Togo" *PanAfrican Medicla Journal*, no. 20, pp. 437-452, 2015.
- [12] A. M. Lykke, M. K. Kristensen and S. Ganaba, "Valuation of the local dynamics of 56 woody species in the Sahel" *Biodiversity and Conservation*, no. 13, 2004.
- [13] D. J. Mogode. *Étude phytochimique de Cassia nigrans Vahl (Caesalpiniaceae) utilise dans le traitement des dermatoses au Tchad*. Thèse Doctorat, Université Bamako, (Bamako, Mali). 2005; 234.
- [14] D. P. B. Lakouété, G. Ndolngar, B. Berké, J. M. Moyen, K. E. Osh, I. Zinga, S. Silla, J. Millogo, P. Vincendeau, J. L. Syssa, O. G. Nacoulma, R. Laganier, A. Badoc and C. Chèze, "Enquête ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du paludisme à Bangui" *Bulletin De La Société de Pharmacie de Bordeaux*, no. 148, pp. 123-138, 2009.
- [15] C. Anyinam, "Ecology and ethnomedicine. Exploring links between current environmental crisis and indigenous medical practices" *Social Science and Medicine*, no. 4, pp. 321-329, 1995.
- [16] Giani S, "Paludisme et Médecine traditionnelle. Aidemet Ong" Groupe de recherche en économie appliquée et théorique, 2007.
- [17] J. P. Ngene, C. C. Ngoule, C. M. PoukaKidik, P. B. MvogoOttou, R. C. Ndjib, S. D. Dibong and M. E. Mpondo, "Importance dans la pharmacopée traditionnelle des plantes à flavonoïdes vendues dans les marchés de Douala est (Cameroun)" *Journal of Applied Biosciences*, no. 88, pp. 8194 -8210, 2015.
- [18] C. F. Ladoh-Yemeda, D. Vandí, S. D. Dibong, M.E. Mpondo, J. D. Wansi, J. L. Betti, F. Choula, D. Ndongo and Tomedi, "Étude ethnobotanique des plantes médicinales commercialisées dans les marchés de la ville de Douala, Cameroun" *Journal of Applied Biosciences*, no. 99, pp. 9450-9468, 2016.
- [19] B. Kouadio, D. Camara, N. Fofié, Y. Kanga, A. B. Yapi, Y. C. Yapó, S. A. Ambe and G. N. Zihiri, "Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le Département de Transua, District du Zanzan (Côte d'Ivoire)" *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 27, no. 2, pp. 4230-4250, 2016.
- [20] P. Ouôba, A.M. Lykke, J. Boussim and S. Guinko. "Études sur la Flore et la Végétation du Burkina Faso et des pays environnants" *Journal of Applied Biosciences*, no. 10, pp. 5-12, 2006.
- [21] D. Ouattara, *Contribution à l'inventaire des plantes médicinales significatives utilisées dans la région de Divo (sud forestier de la Côte-d'Ivoire) et à la diagnose du poivrier de Guinée: Xylopia aethiopica (Dunal) A. Rich*, 2006.
- [22] K. N'Guessan. *Plantes médicinales et pratiques médicinales traditionnelles chez les peuples Abbey et Krobou du Département d'Agboville (Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences Naturelles, Spécialité Ethnobotanique, Université de Cocody-Abidjan. 2008; 275.
- [23] K. Béné, N. B. Y. Fofie, D. Camara, Y. Kanga, A. B. Yapi, Y. C. Yapó and G. N. Zihiri, "Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le Département de Transua, District du Zanzan (Côte d'Ivoire)" *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 27, no. 2, pp. 4230-4250, 2016.
- [24] A. B. Koffi, D. Kouamé and A. C. Y. Yao, "Structure and composition of the liana assemblage of Azagny National Park in the Southern Côte d'Ivoire. Laboratoire de Botanique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan-Côte d'Ivoire, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire. UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa-Côte d'Ivoire. Département Recherche et Développement, Centre Suisse de Recherches en Côte d'Ivoire (CSRS), BP 1303 Abidjan 01, 2016. pp. 11.
- [25] A. Žuljević, S. Kaleb, V. Peña, M. Despalatović, I. Cvitković, O. De Clerck, L. Le Gall, A. Falace, F. Vita, Juan C. Braga and B. Antolić. "First freshwater coralline alga and the role of local features in a major biome transition". *Scientific Reports*, 2016.
- [26] G. Galeano "Forest use at the pacific coast of Chocó, Colombia: A quantitative approach. In: *Economic botany*" The New York Botanical Garden Press, vol. 54, no. 3, pp. 358-376, 2000.
- [27] B. F. H. Tra, G. M. Irié, K. C. C. N'gaman and C. H. B. Mohou, "Études de quelques plantes thérapeutiques utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle et du diabète: deux maladies émergentes en Côte d'Ivoire" *Sciences & Nature*, vol. 5, no. 1, pp. 39-48, 2008.
- [28] M. Vangah-Manda. *Contribution à la connaissance des plantes médicinales utilisées par les ethnies Akans de la région littorale de la Côte-d'Ivoire*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, F.A.S.T. d'Abidjan. 1986; 464.

Evolution des paragenèses métamorphiques dans les formations panafricaines du Sud Maradi (Sud Niger)

[Evolution of metamorphic paragenesis in the South Maradi Pan-African formations (South Niger)]

Baraou Souley Idi¹ and Moussa Konaté²

¹Université d'Agadez, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, P.O. Box 199, Agadez, Niger

²Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Géologie: Eaux Souterraines et Géoressources, BP 10662, Niamey, Niger

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 Pan-African province of South Maradi represents the northern part of Benin-Nigerian Shield, corresponding to the Pan-African mobile zone located in the East of West African Craton. In this basement zone, the distribution of metamorphic formations is marked by gradual transitions: from schists to gneiss and then to migmatites. The schists outcrop in a NE-SW bands, alternating parallelly with gneiss bands, limited by the shear zones. The alternation of schists and gneiss bands, associated to ductile shear zones and the existence of a gradual transition from schists to migmatite, raises questions about the geodynamic context of crustal evolution. The study of metamorphic paragenesis (aim of this study), allows to specify the geodynamic context that prevailed in this portion of the pan-African mobile zone of South Maradi. The methodological approach combines petrostructural analysis and determination of mineral assemblages by using the petrographic microscope. The chronology of the metamorphic mineral assemblages and their relationship with the deformation structures made it possible to highlight a prograde phase of metamorphic evolution (green schist facies- amphibolite facies, granulite facies) then retrograde, synchronous with a tangential tectonic and then transcurrent one. Further south in the contiguous Pan-African province of Nigeria, pressure elevation from 6.8 kbars to 9-10 kbars associated with a prograde metamorphism have been related to burial then to a crustal thickening by pile-ups.

KEYWORDS: South Maradi, Pan-African mobile zone, Schists and Gneiss bands, Shear zone, Mineral paragenesis.

RESUME: La province panafricaine du Sud Maradi représente l'extrémité septentrionale du Bouclier Bénino-Nigérien, correspondant à la portion de la zone mobile panafricaine située à l'Est du Craton Ouest Africain. Dans cette zone de socle, la distribution des formations métamorphiques est marquée par des passages graduels: des schistes à des gneiss puis à des migmatites. Les schistes forment des lanières d'orientation NE-SW, en alternance avec des bandes de gneiss, de même orientation, limitées par des couloirs de cisaillement (*Shear Zone*). L'alternance des bandes de schistes et de gneiss, associée à des couloirs de cisaillements ductiles et l'existence d'un passage graduel des schistes à des migmatites, conduit à se poser des questions sur le contexte géodynamique de l'édification de la croûte. L'étude des paragenèses métamorphiques, objet de la présente étude, permet de préciser le contexte géodynamique qui a prévalu, dans cette portion de la zone mobile panafricaine du Sud Maradi. L'approche méthodologique associe l'analyse pétrostructurale et la détermination des paragenèses minérales au microscope polarisant. La chronologie des assemblages métamorphiques et leurs calages par rapport aux structures de déformations a permis de mettre en évidence une phase prograde de l'évolution métamorphique (faciès schiste vert-faciès amphibolite, faciès granulite) puis rétrograde, synchrone d'une tectonique tangentielle puis transcurrente. Plus au Sud dans la

province panafricaine contiguë du Nigéria, les élévations de pression de 6.8 kbars à 9-10 kbars associées au métamorphisme prograde a été relié à un enfouissement, lié à un épaississement crustal par empilements de nappes.

MOTS-CLEFS: Sud Maradi, zone mobile panafricaine, bandes de schistes et de gneiss, couloir de cisaillement, paragenèse minérale.

1 INTRODUCTION

Le socle du Sud Maradi, représente l'extrémité septentrionale du Bouclier Bénino-Nigérian, appartenant à la zone mobile panafricaine à l'Est du Craton Ouest-Africain. Elle est comprise entre les latitudes 13° et 13°20' N et les longitudes 6° 50' et 7°35'00"E (fig. 1).

Les premiers travaux relatifs à la géologie du Sud Maradi ont été réalisés par [1] et [2]. Ces travaux se limitaient à la réalisation d'une carte géologique sommaire au 1/200 000^{ème} [1] et à la carte géophysique aéroportée par le, réalisée dans le cadre d'une prospection minière dans cette zone. À ces travaux s'ajoutent les études sur la caractérisation de la déformation [3]; [4], sur la datation géochronologique [5] et sur les indices aurifères [6]; [7] du socle du Sud Maradi.

Il ressort de cette revue bibliographique qu'aucune étude détaillée n'a mis l'accent sur les phénomènes thermo-tectoniques ayant affecté le socle cristallin et cristallophyllien du Sud Maradi à travers l'analyse de leurs paragenèses minérales.

Dans la zone d'étude, les alternances de bandes de schistes et de bandes de gneiss fait penser à une accréction latérale de segments crustaux. S'agit-il véritablement d'une accréction par collage latéral de blocs crustaux ou par raccourcissement avec empilement de nappes? L'étude des paragenèses métamorphiques, objet de la présente étude, permet de préciser le contexte géodynamique de l'édification de la croûte.

Pour atteindre cet objectif, une approche multidisciplinaire, intégrant l'étude pétrographie et microtectonique sur le terrain et au laboratoire, a été adoptée.

2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le bouclier Bénino-Nigérian dont fait partie le Sud Maradi, est une ceinture mobile panafricaine située à l'Est du Craton Ouest Africain et à l'Ouest du Craton congolais (fig. 1). Dans le Sud Maradi, le passage graduel des gneiss à des migmatites est souvent interrompu par des ceintures de schistes associés à des couloirs de cisaillement (figs. 2 et 3). En effet, quatre ceintures de schistes ont été identifiées. Elles forment des bandes d'orientation NE-SW, limitées par des couloirs de cisaillement ("*Shear Zone*") de même orientation. Les ceintures de schistes sont intrudées par des granitoïdes peu ou pas déformés [1]; [2]; [3]. Elles sont désignées par les noms des localités où les affleurements sont plus importants. Il s'agit du Sud-Ouest vers le Nord Est des ceintures de schistes de (i) Maraka (CSM), (ii) Goumata Est (CSG), (iii) Garin Liman (CSGL) et (iv) Maidaparo (CSMp). (figs. 2 et 3). Ces ceintures de schistes forment des bandes d'environ 1 à 5 km de large, en alternance (figs. 2 et 3) avec des bandes de gneiss mylonitiques (de Fiawa (BGF), de Goumata Est (BGG), de Nielwa (BGN) et de Garin Liman (BGGL)), d'orientation NE-SW (figs. 2 et 3).

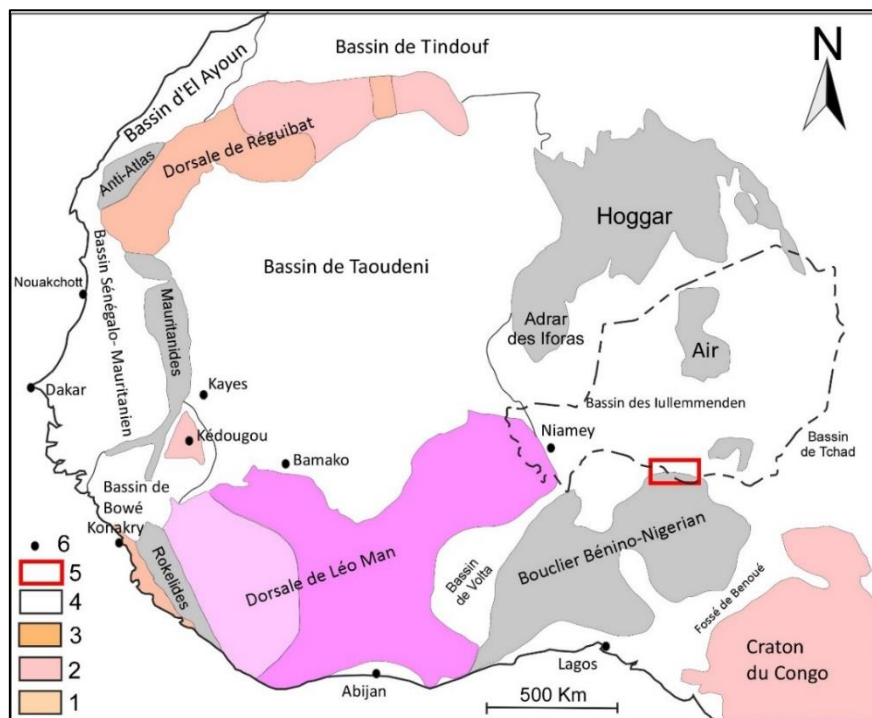


Fig. 1. Carte géologique simplifiée de l'Afrique de l'Ouest montrant la localisation du secteur d'étude (d'après [8], modifiée). 1: Archéen; 2: Birimien; 3: Zones mobiles panafricaines; 4: Bassins sédimentaires d'âge néoproterozoïque à cénozoïque; 5: Zone d'étude; 6: Villes

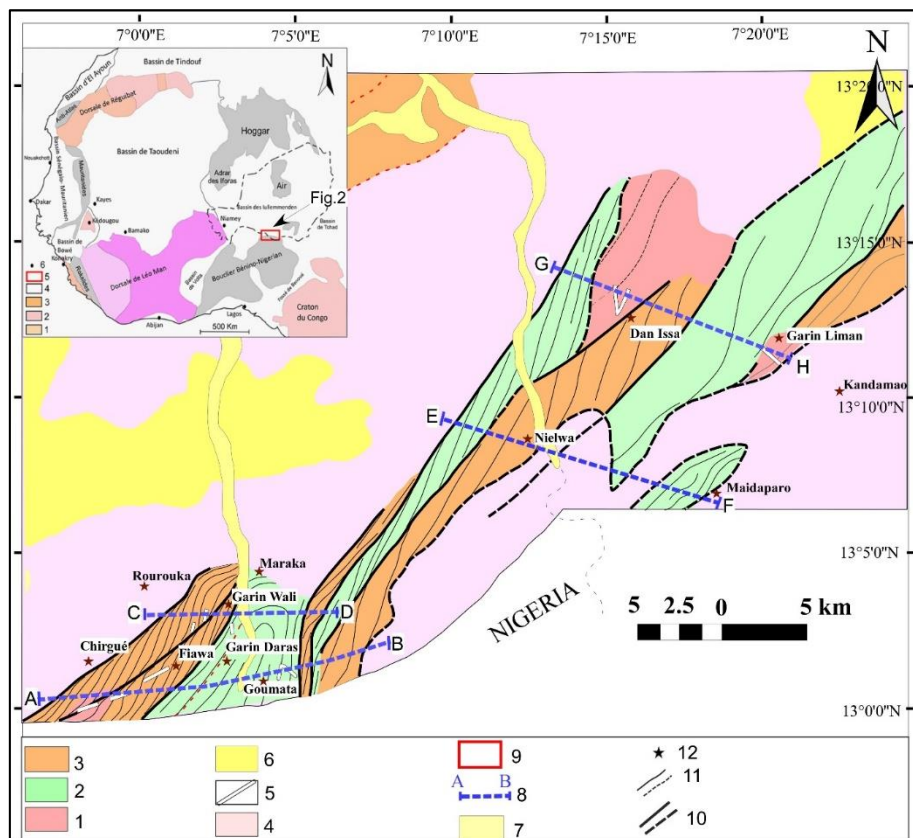


Fig. 2. Carte géologique du secteur d'étude, compilée à partir des données géophysiques [2], cartographiques [1], de forage et de terrain, montrant la position des coupes réalisées. (1): Gneiss migmatitiques; (2): Ceinture de schistes; (3): Gneiss mylonitiques; (4): Granites peu ou pas déformés; (5): Filons de quartz ou de pegmatite; (6): Grès crétacés; (7): Alluvions; (8): Traits de coupes; (9): Zone d'étude; (10): Cisailllements panafricains; (11): Trajectoires de la schistosité/foliation; (12): Villages

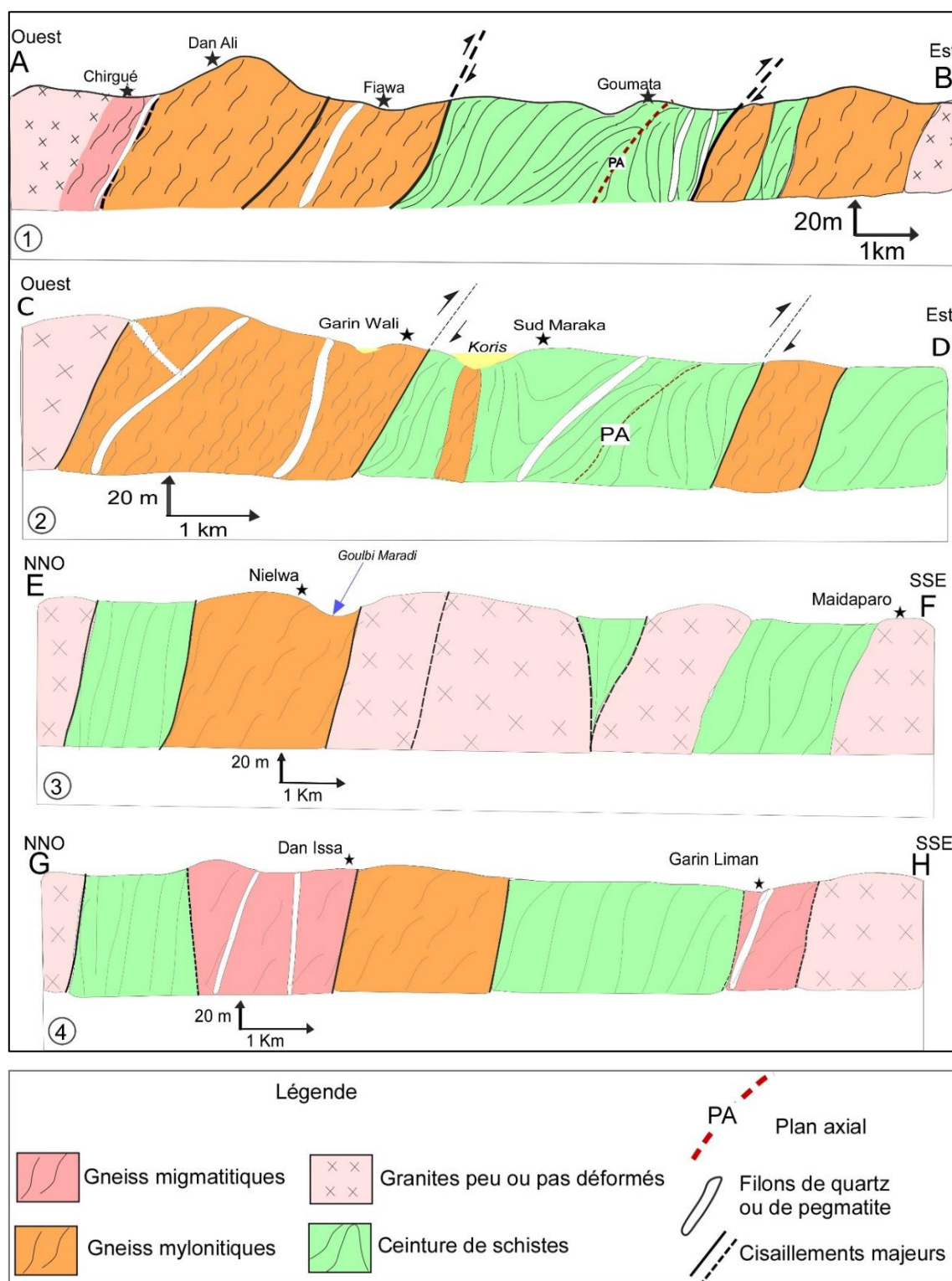


Fig. 3. Coupes géologiques réalisées dans la zone d'étude montrant la distribution spatiale des formations géologiques. (1): Coupe géologique A-B de Chirgué-Goumata; (2): Coupe géologique C-D de Garin Wali-Maraka; (3): Coupe géologique E-F du secteur de Nielwa-Maidaparo; (4): Coupe géologique G-H du secteur de Dan Issa Gari Liman

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'approche méthodologique comprend des travaux du terrain et de laboratoire. L'approche du terrain a consisté d'une part, (i) à l'observation et à l'identification in situ des minéraux dans les roches ainsi que la détermination macroscopique de la structure et de la texture des roches et, d'autre part, (ii) à un prélèvement systématique des échantillons (préalablement orientés) au niveau des différents faciès pétrographiques identifiés (gneiss, schistes, gneiss migmatitiques, et granites). Ces travaux de terrain ont abouti au lever de coupes géologiques sectorielles.

L'approche de laboratoire est basée essentiellement sur l'étude des lames minces de roches au microscope polarisant, au Laboratoire de Géologie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger). L'analyse au microscope polarisant a permis de préciser les paragenèses minérales (association minéralogique) et les textures des différents faciès pétrographiques étudiés.

4 RÉSULTATS

4.1 DIFFÉRENTS FACIÈS PÉTROGRAPHIQUES

Les faciès pétrographiques analysés dans le cadre de cette étude concernent les roches de la ceinture de schistes, les gneiss mylonitiques, les gneiss migmatites et les granites porphyriques.

4.1.1 MIGMATITES DU SUD MARADI

A l'affleurement, les migmatites présentent une diversité de faciès pétrographiques comprenant (fig. 4): des paléosomes de gneiss porphyroïdes, des leucosomes de granites aplitiques et des mélanosomes de restites biotitiques. La présence de leucosome et de mélanosome indique que le métamorphisme a atteint des degrés supérieurs à celui du faciès amphibolite et proche du faciès granulite [9].

4.1.1.1 PALÉOSOMES DE GNEISS PORPHYROÏDES

Dans les migmatites de Garin Liman (fig. 2), les paléosomes sont affectés par des plis anisopaques d'écoulement présentant une forte dispersion des axes de plis (fig. 4-a) et montrant un passage à des granites d'anatexie (néosome).

Les paléosomes correspondent à des roches de couleur rosâtre à grisâtre (fig. 4). Ils sont constitués de quartz, de cristaux blancs de feldspaths centimétriques et des lits noirs de biotite qui définissent une foliation d'orientation N30° à N50° (fig. 4-a et b).

L'observation au microscope d'un échantillon de paléosome (fig. 5) montre un assemblage minéralogique constitué de quartz, de biotite chloritisée, de microcline, d'orthose, de plagioclase et des oxydes, définissant une foliation organisée en lits quartzo-feldspathiques et micacés indiquant les conditions de faciès amphibolite. Cette foliation se moule autour des porphyroblastes de feldspath potassique (fig. 5-c, e et f). Elle met en évidence une texture grano-lépidoblastique porphyrique (fig. 5).

4.1.1.2 MÉLANOSOMES DE RESTITES BIOTITIQUES

Les mélanosomes de Chirgué (fig. 2) correspondent à des enclaves biotitiques, dans les paléosomes de gneiss porphyriques (figs. 4b et 6). Ces enclaves correspondent à des assemblages de biotites réfractaires à la fusion partielle (restites biotitiques). L'occurrence de gros cristaux automorphes de feldspath dans les mélanosomes biotitiques (fig. 6-b) dénote le caractère porphyrique de la roche initiale. L'observation au microscope d'un échantillon de mélanosome (fig. 7) montre un assemblage minéralogique constitué majoritairement de la biotite, de la cordiérite, du quartz (cristaux en extinction roulante), du plagioclase en altération en épidote (pistachite), de la muscovite et accessoirement du zircon présentant une auréole jaunâtre (fig. 7). L'abondance de la biotite indique que la roche est plutôt hydratée ce qui pourrait abaisser le point de la fusion partielle. Dans ces conditions, la fusion partielle interviendrait bien avant le faciès granulite, qui a été évoqué par [9]. Le faciès métamorphique dans lequel se produirait cette de fusion partielle dans le Sud Maradi serait de type faciès amphibolite profond. Dans le secteur de Dan Issa, la datation des gneiss migmatitiques, par la méthode U-Pb sur zircon, a donné un âge de 638.3±3.0 Ma, qui pourrait être l'âge de la première recristallisation du zircon, en liaison probable avec le début de migmatisation [5].

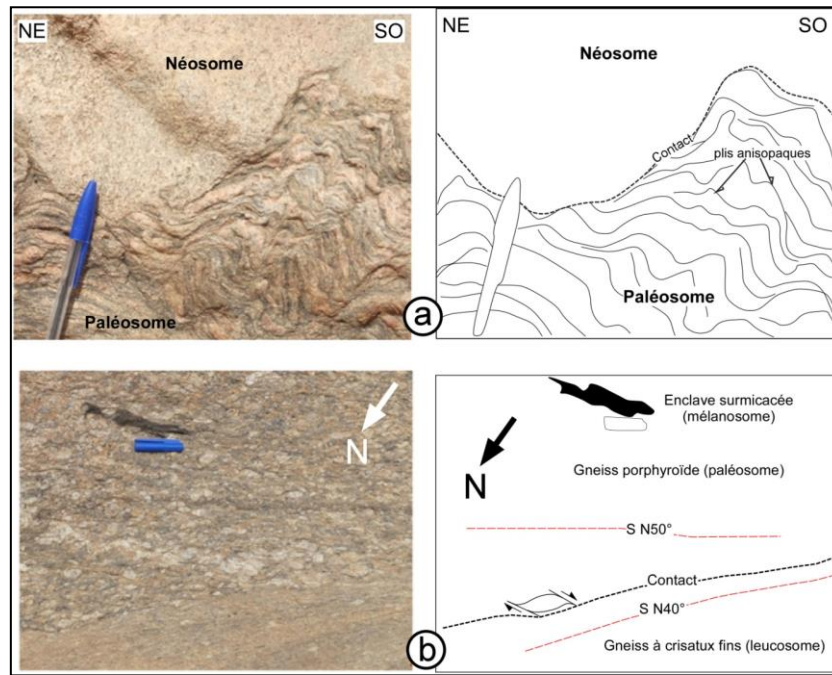


Fig. 4. Aspect à l'affleurement des gneiss migmatitiques de Garin Liman (a) et des migmatites de Chirgué (b). En (a): Paléosome affecté par des plis anisopaques d'écoulement, à forte dispersion des axes de plis, en contact avec un néosome non déformé. Le contact paléosome - néosome est concordant. En (b): Des gneiss porphyroïdes (diatexitites) renferment des mélanosomes surmicacés de biotite. Ils montrent un passage à des gneiss à petits cristaux

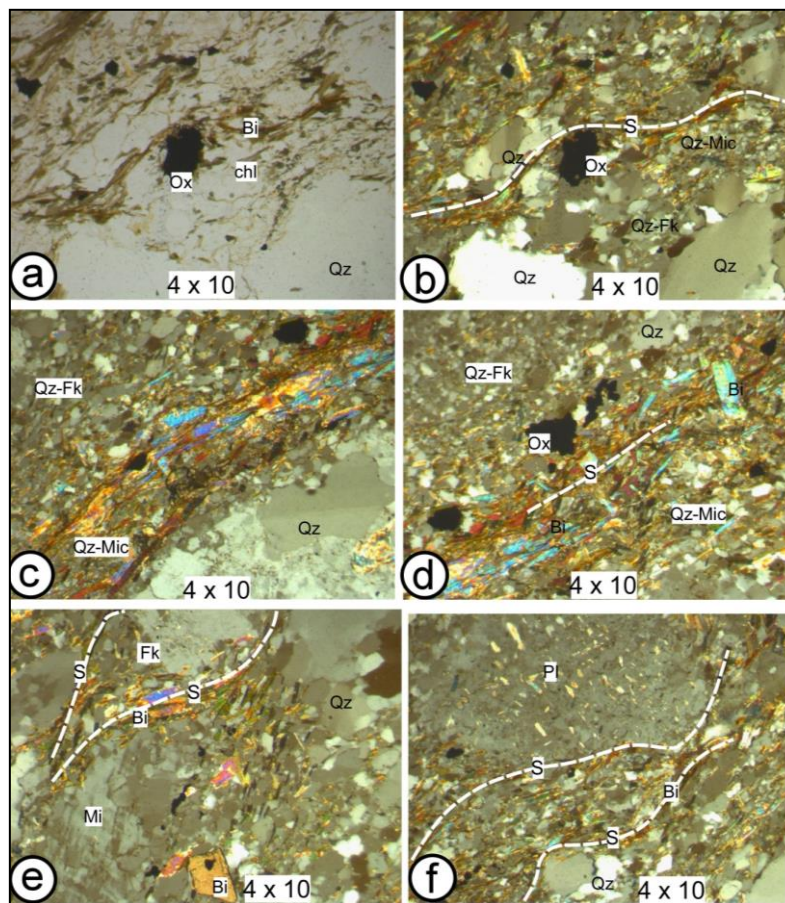


Fig. 5. Microphotographies d'orthogneiss œillé montrant la fabrique S/C de déformation ductile. S: trajectoire de la foliation; Qz-Mic: lit quartzo-micacé, Qz-Fk: lit quartzo-feldspathique, Fk: orthose, Mi: microcline, Bi: biotite, Pl: plagioclase, Chl: chlorite, Ox: oxydes

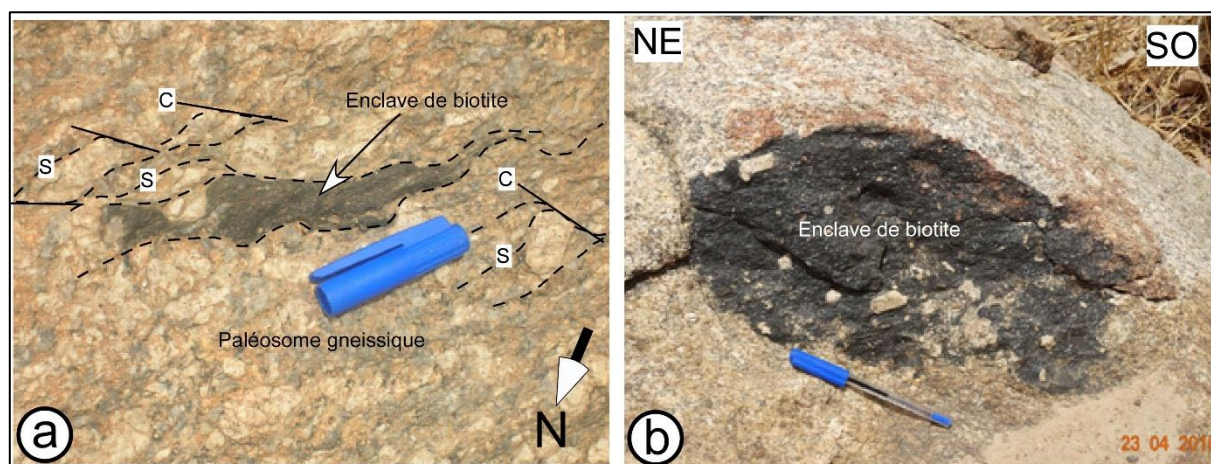


Fig. 6. Enclaves de restites biotitiques de Chirgué dans un microcouloir de cisaillement NE-SO: S: trajectoire de la foliation, C: plan de cisaillement

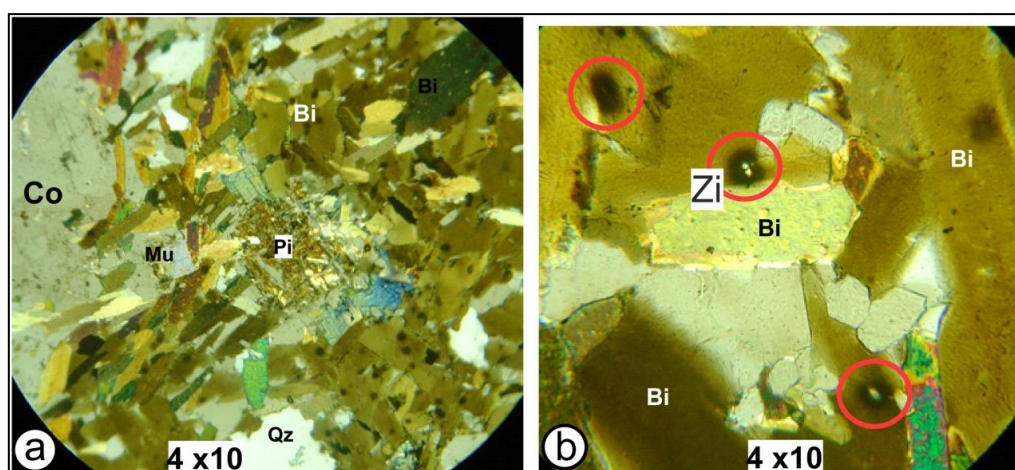


Fig. 7. Microphotographies de restites biotitiques montrant les paragenèses minérales. Co: cordiérite, Bi: biotite, Mu: muscovite, Qz: quartz, Zi: zircon, Pi: pistachite

4.1.2 ROCHES DE LA CEINTURE DES SCHISTES

Dans le Sud Maradi, les roches de la ceinture sont représentées par des schistes sériciteux à chloriteux et rarement des micaschistes. Ces schistes, de teinte grise à verdâtre, montrent des feutrages de fines paillettes de séricite et de chlorite. Ils renferment des grains de quartz et de feldspaths ainsi que des paillettes de biotite et de muscovite, définissant une structure schisteuse perturbée par des exsudats synschisteux de quartz (fig. 8).

L'observation au microscope des schistes montre une association minérale constituée de quartz, de biotite, d'orthose, d'albite, de chlorite et d'oxydes, indiquant les conditions du faciès schiste vert. L'agencement microscopique de ces minéraux définit une texture grano-lépidoblastique (fig. 9). La texture des schistes est dominée par des recrystallisations fines synchroniques de biotite et de séricite et de microcristaux de quartz, d'orthose et de plagioclase. Cette texture grano-lépidoblastique est souvent recoupée par des recrystallisations de biotite et de chlorite (fig. 9-c, e et f), indiquant un métamorphisme rétrograde dans un faciès de type schiste vert. Ces observations sont en accord avec celles de [10] qui ont mis en évidence les conditions d'un métamorphisme rétrograde indiquant un abaissement de pression et de température de 6.8 kbar/780 °C à 3.8 kbar/590 °C dans la partie Ouest du bouclier Bénino-Nigérien. Dans les schistes de Maraka, un âge radiométrique de 617.9±2.8 Ma a été obtenu par la méthode U-Pb sur zircon. Cet âge pourrait correspondre à celui de la dernière recrystallisation du zircon [5].

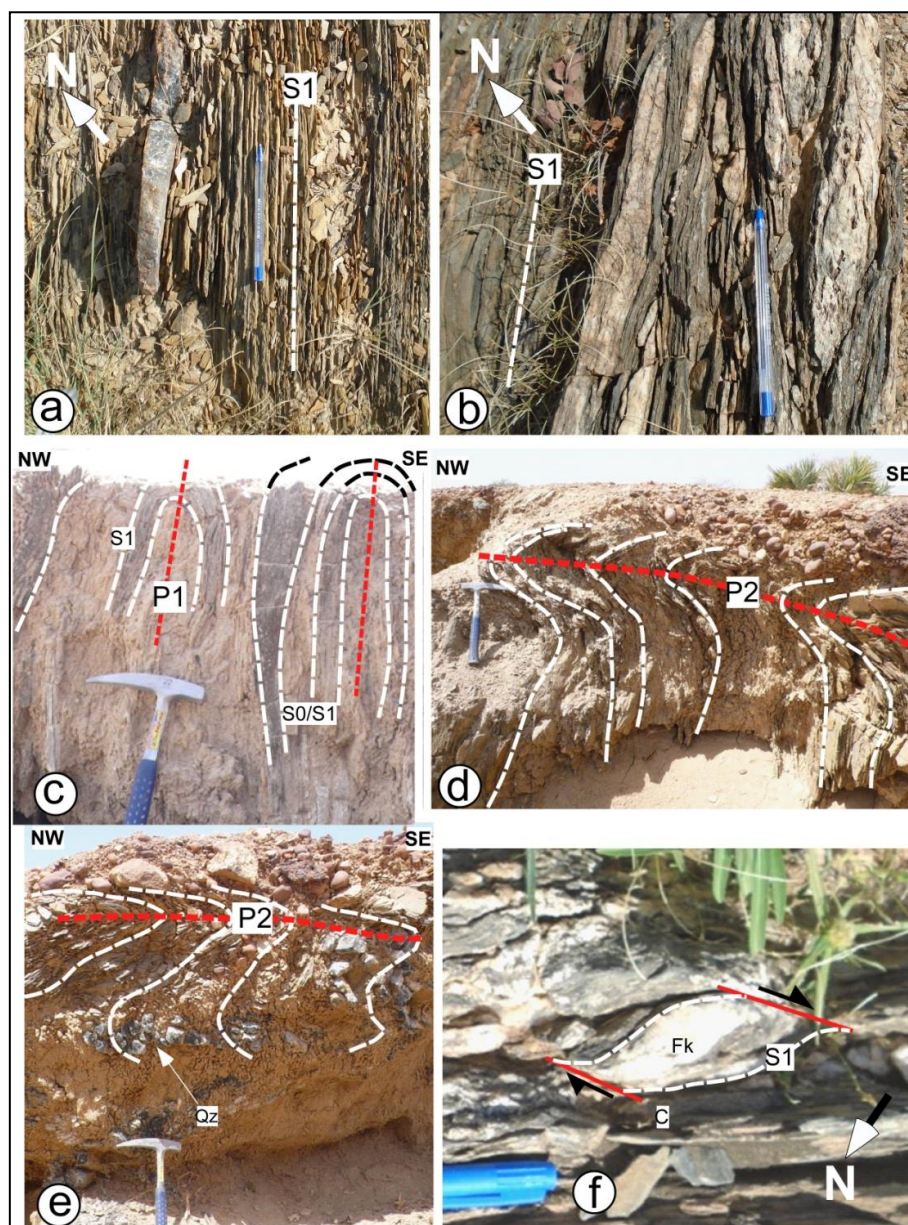


Fig. 8. Aspects à l'affleurement des schistes dans la ceinture de schistes de Garin Darass. En a et en b: déformation coaxiale par aplatissement pur, associée à une tectonique tangentielle (raccourcissement horizontal), S1: trajectoire de schistosité/foliation. En c: P1: plan axial subvertical à vertical. En d et e: P2: plan axial subhorizontal de plis replissant S1. En f: déformation non coaxiale marquée par une fabrique S/C indiquant un cisaillement simple, Fk: porphyroblaste de feldspath potassique

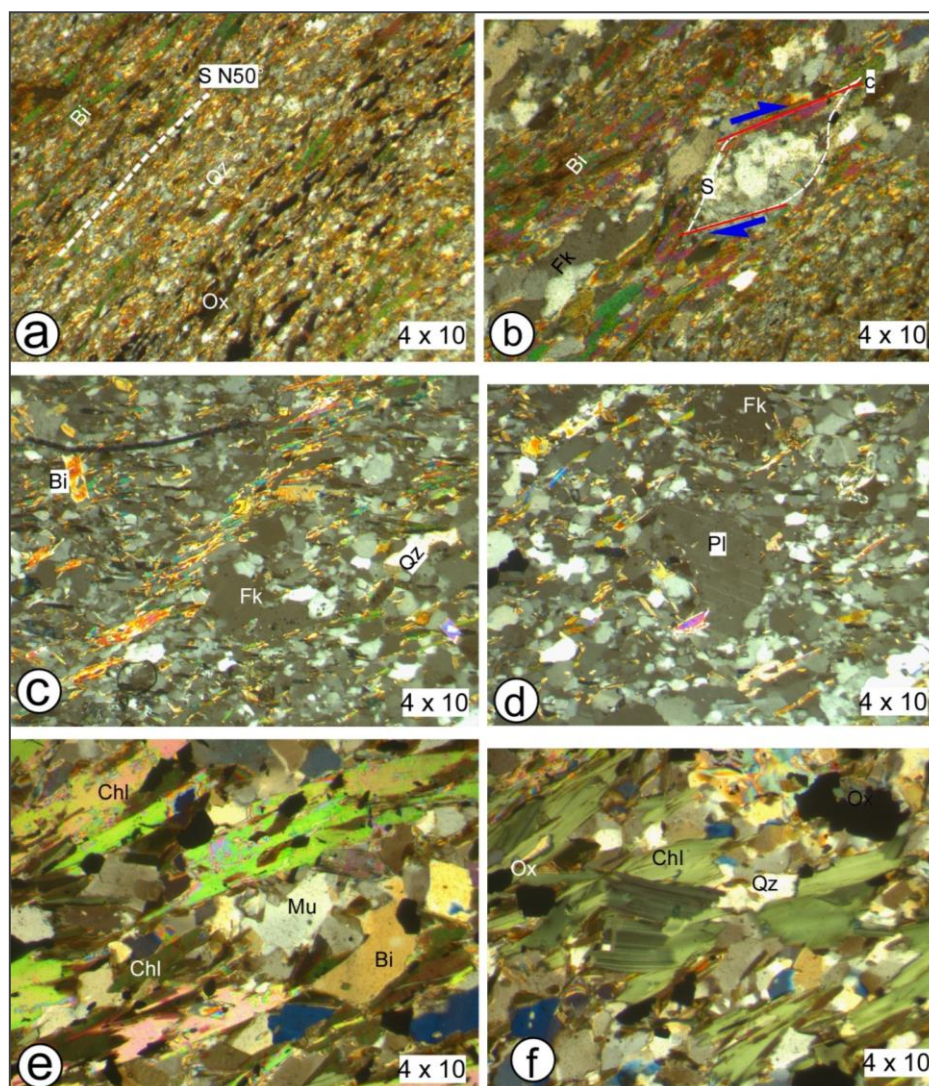


Fig. 9. Microphotographies de schistes montrant les différentes associations minéralogiques et les textures associées. Qz: quartz, Fk: orthose, Bi: biotite, Sp: sphène, Ox: oxydes, Pl: plagioclase, Ox: oxydes, Chl: chlorite, S: trajectoire de foliation, C: plan de cisaillement

4.1.3 GNEISS MYLONITIQUES DU SUD MARADI

Les observations de terrain montrent que dans le Sud Maradi les affleurements de gneiss sont représentés par des chaîons de petites collines discontinues de 2 à 5 m de haut. Les gneiss mylonitiques ont été observés dans les secteurs de Garin Wali-Fiawa et de Dan Issa-Nielwa (figs. 2 et 3). Leurs affleurements consistent en des bandes ou couloirs de cisaillement "Shear zones" d'orientation NE-SO, qui se prolongent au-delà de la frontière avec le Nigéria.

4.1.3.1 GNEISS DE GARIN WALI-FIAWA

Les gneiss mylonitiques sont marqués par la présence des porphyroblastes de feldspaths potassiques déformés, de taille pluricentimétrique (fig. 10-c et d). La présence de ces porphyroblastes implique que le protolithe est un granite alcalin. Il s'agit donc d'orthogneiss. La géométrie relativement sigmoïde des feldspaths met en évidence un épisode de mylonitisation ductile, marquée:

- d'une part, par le développement d'une fabrique S/C ("S-type structure", [11]. La géométrie sigmoïde des porphyroblastes met en évidence une composante rotationnelle sénestre, bien prononcée au niveau des gneiss pegmatitiques (fig. 10-a).
- d'autre part, par le boudinage ductile des feldspaths, associé à des figures d'enroulement ("σ-type structure", [11] (fig. 10-b). La forme en spirale de l'enroulement indique également une composante sénestre du cisaillement.

Les observations au microscope des lames minces de ces roches montre une association minéralogique constituée principalement du quartz, de l'orthose, du microcline, du plagioclase de type albite, de la biotite et du sphène (fig. 11). Une telle paragenèse a été reliée à un faciès de type amphibolite. Toutefois, la présence de la chlorite autour des paillettes de biotite avec accessoirement des oxydes de fer traduit une rétro-morphose de la biotite et une oxydation des minéraux ferromagnésiens.

L'analyse microstructurale a permis de distinguer trois types de minéraux métamorphiques:

- des minéraux anté-cinématiques (anté-cisaillement) constitués d'orthose, de quartz, du plagioclase et du sphène qui ont plus ou moins conservé leur forme prismatique (fig. 11);
- des minéraux syn-cinématiques plus ou moins orientés, définissant des lits quartzo-feldspathiques ou quartzo-micacés (fig. 11-a, b, c, d et e);
- et des minéraux post-cinématiques représentés par la chlorite et des oxydes de fer (fig. 11-e).

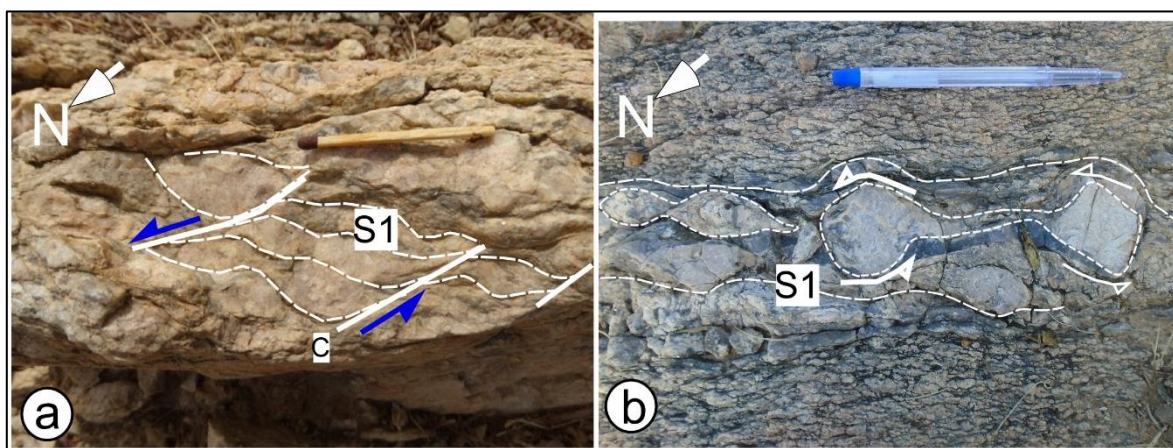


Fig. 10. Gneiss mylonitiques des secteurs de Garin Wali et de Fiawa présentant différents types de structure de déformation: En a: Gneiss œillé à porphyroblastes de feldspath potassique présentant une géométrie sigmoïde (fabrique S/C sénestre). Figure d'enroulement sénestre de feldspath (b)

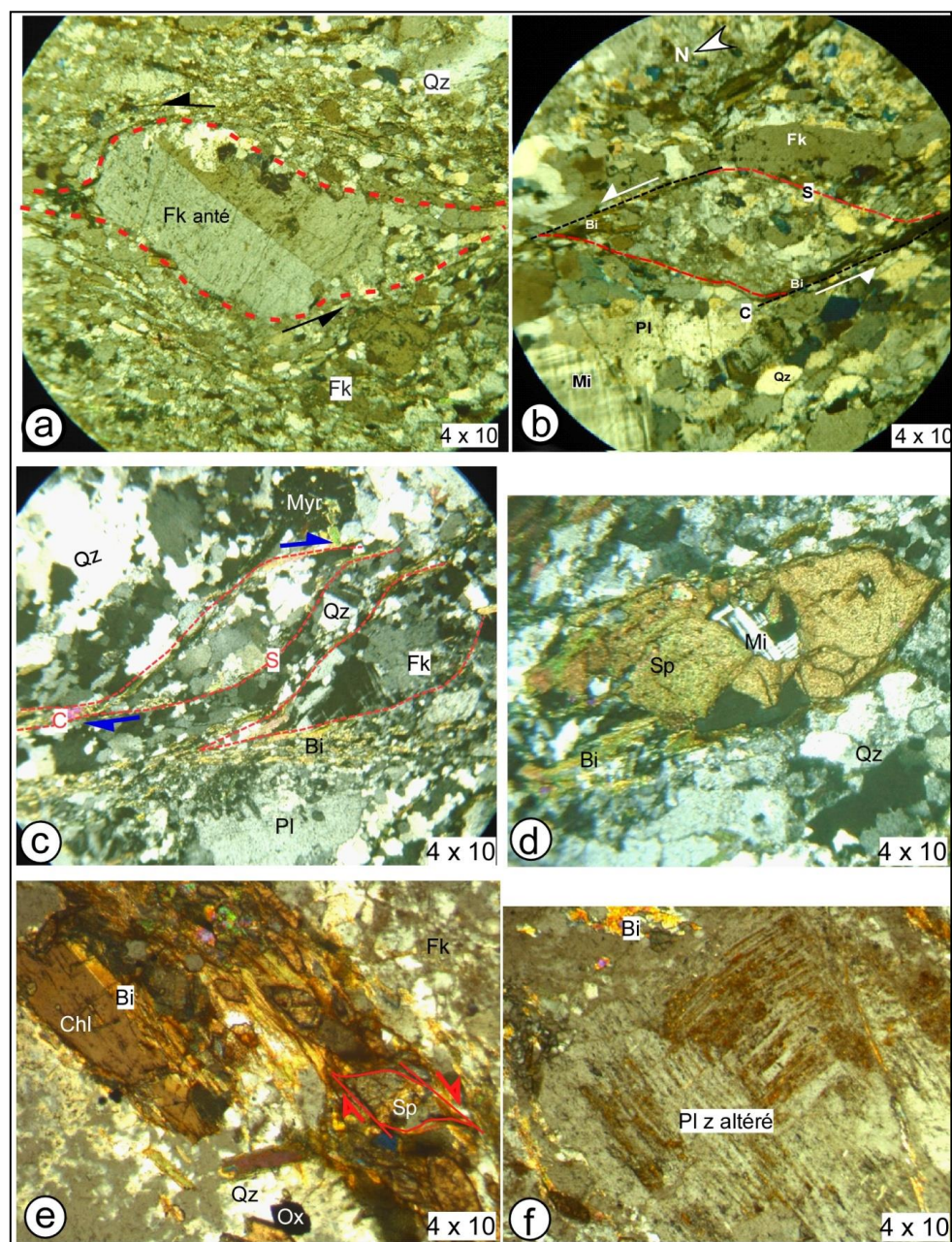


Fig. 11. Aspects au microscope des gneiss de Garin Wali et de Fiawa montrant les assemblages minéralogiques et les structures de déformation mylonitique. Qz: quartz, Fk: orthose, Bi: biotite, Mi: microcline, Sp: sphène, Myr: myrmékite, Ox: oxydes, Pl: plagioclase, Chl: chlorite

4.1.3.2 GNEISS MYLONITIQUES DE NIELWA-DAN ISSA

Il s'agit de roches de couleur rose-grisâtre, constituées de porphyroclastes centimétriques de feldspaths potassiques et de cristaux étirés de quartz et de biotite qui définissent une foliation mylonitique à fabrique S/C (fig. 12-a, c et e).

L'observation au microscope des orthogneiss dans le secteur de Dan Issa-Nielwa (fig. 2) montre une association minéralogique constituée de quartz, de biotite, de l'orthose, du plagioclase et accessoirement du sphène, des zircons et des oxydes de fer, définissant une texture grano-lépidoblastique (fig. 13).

L'analyse microstructurale permet de distinguer des porphyroblastes antécinématiques d'orthose et de plagioclase (fig. 13-b, c, d et e), entourés de cristaux syn-cinématiques de plus petite taille, représentés par du quartz, des feldspaths et des paillettes de micas (fig. 13-a, b, c et f). Ces cristaux syn-cinématiques définissent une foliation mylonitique.

Cette déformation mylonitique non coaxiale a été datée à 505 ± 15 Ma dans les schistes (par la méthode K-Ar sur roche totale) et un âge compris entre 491 ± 10 Ma (Cambrien supérieur) et 475 ± 10 Ma (Ordovicien inférieur) dans les gneiss mylonitique, par la méthode K-Ar sur feldspaths et sur roche totale [5].

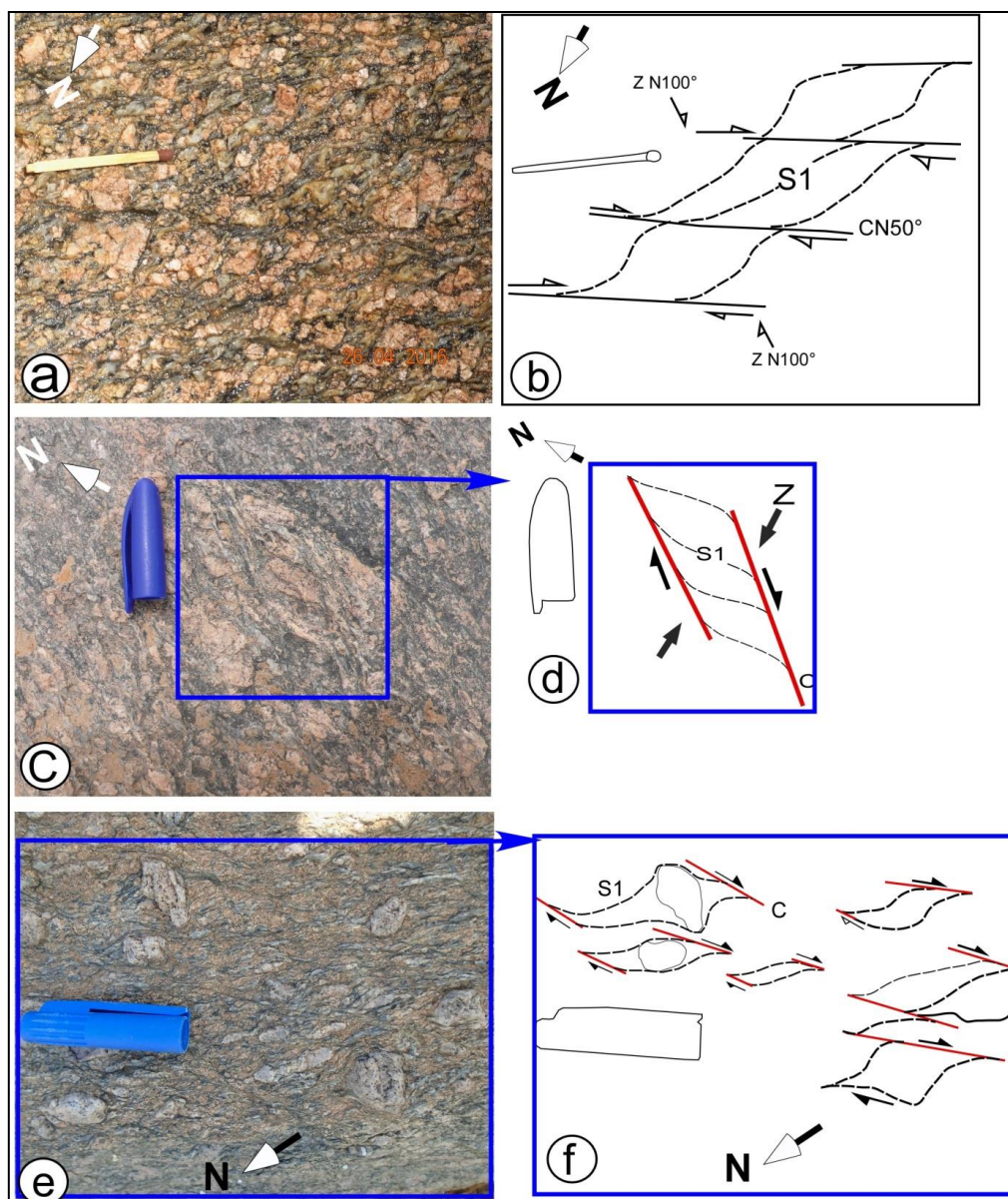


Fig. 12. Orthogneiss mylonitiques de Dan Issa-Nielwa montrant les microcouloirs de cisaillement dextre affectant les gneiss mylonitiques de Dan Issa (a), de Nielwa (c) et de Goumata Est (e). (b, d, et f): interprétations respectives de (a), (b) et (c). S: trajectoire de foliation, C: plan de cisaillement

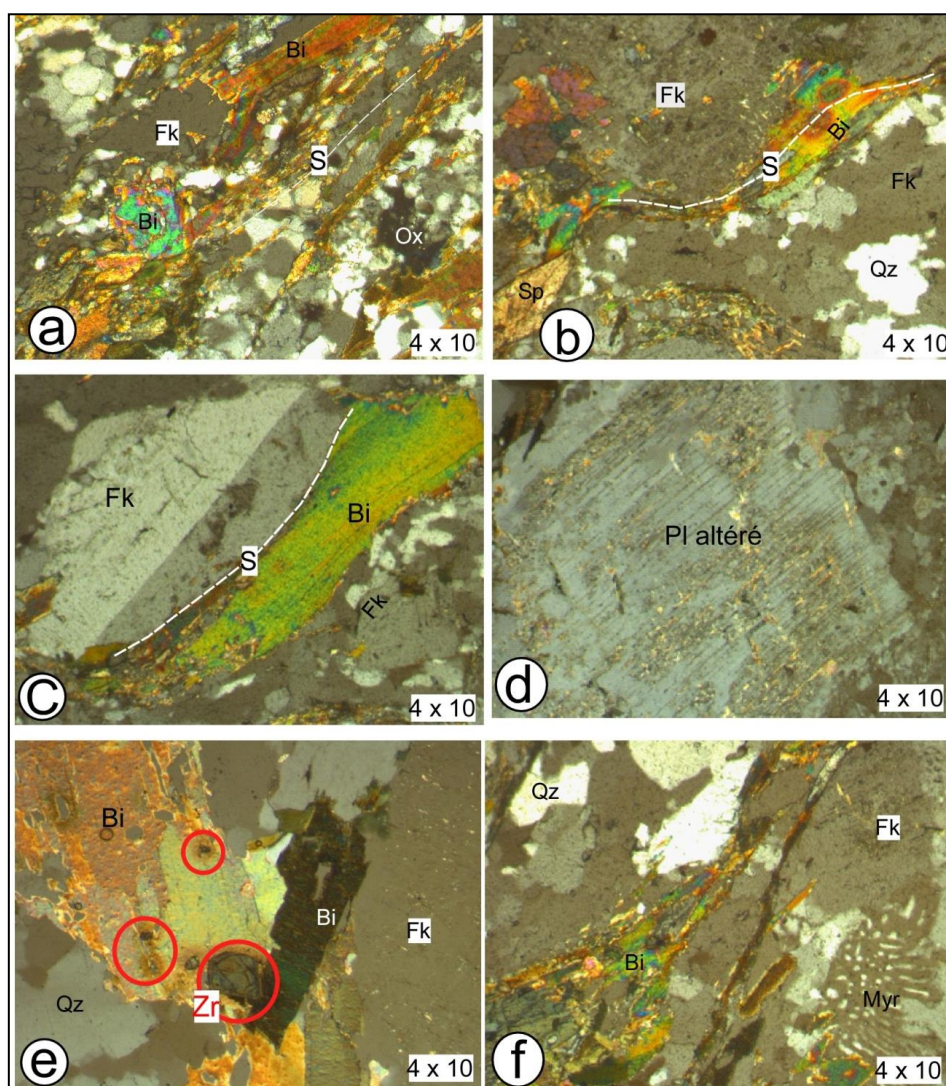


Fig. 13. Microphotographies d'orthogneiss mylonitiques de Dan Issa-Nielwa montrant l'association minéralogique et les structures de déformation mylonitique. Qz: quartz, Fk: orthose, Or anté: orthose antécinématique, Bi: biotite, Sp: sphène, Myr: myrmékite, Ox: oxydes, Pl: plagioclase, Zi: zircon

4.1.4 GRANITES PORPHYRIQUES À BIOTITE

Ces types de granites affleurent au sud-ouest du village de Chirgué et de Rourouka (figs. 2 et 14), sous forme de corps intrusifs plurimétriques discontinus (fig. 14). Ils se rencontrent également dans les secteurs de Kolengué et de Kandamao (figs. 2 et 14). Macroscopiquement, ces granites, de couleur rosâtre montrent une texture grenue porphyrique soulignée par des cristaux automorphes de feldspath, de quartz et de biotite (fig. 14-a et b).

L'observation microscopique des granites porphyriques (fig. 14-c et -d) montre une association minérale comprenant du quartz (en cristaux xénomorphes à extinction roulante), de l'orthose (en macles de carlsbad perthitique), de l'albite (à macle polysynthétique fruste), du microcline (en phénocristaux sub-automorphes à macle de type jupe écossaise), de la biotite (présentant des clivages fins suivant les sections longitudinales) et de rares paillettes de muscovite (fig. 15-c et d). La datation des granites porphyroïdes de Rourouka, par la méthode K-Ar sur roche totale a donné un âge de 508±10 Ma [5].

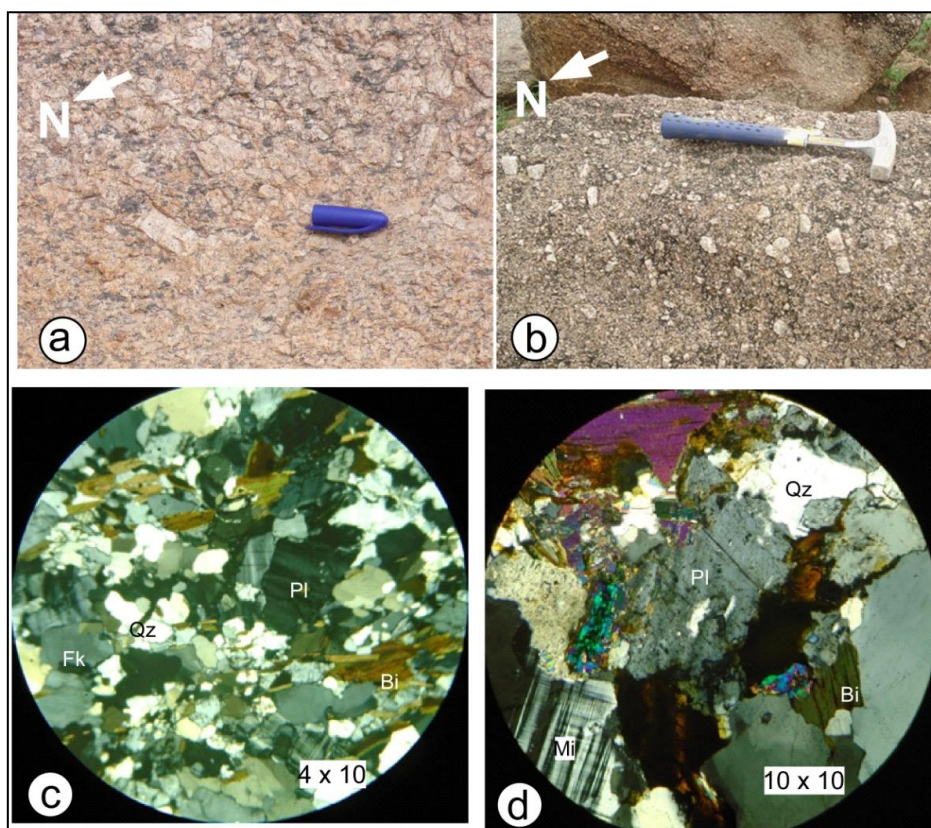


Fig. 14. (a et b): Affleurements de granites porphyriques de Nielwa à gauche et de Chirgué à droite. (c et d): Microphotographies de ces granites porphyriques. La légère orientation des paillettes de biotite (c) indiquant un litage magmatique fruste. Qz: quartz, Fk: orthose, Pl: plagioclase, Mi: microcline, Bi: biotite

5 DISCUSSION

Pendant la première période de déformation ductile à semi-ductile, à dominante coaxiale, datée entre 638 et 589 Ma, marquée par une schistosité/foliation S1 NE-SW qui a été attribuée à un raccourcissement NW-SE, les paragenèses minérales ont enregistré une évolution allant:

- (i) du faciès schiste vert (à quartz-biotite-orthose-albite-chlorite) au faciès amphibolite (paragenèse à quartz-orthose-microcline-albite-biotite-sphène);
- (ii) puis au faciès de type granulite, marquée ici par la présence de restites biotitiques indiquant les conditions de fusion partielle dans les néosomes des gneiss migmatitiques.

Pendant la deuxième période de déformation mylonitique dextre, à raccourcissement E-W, datée entre 505 ± 15 Ma et 475 ± 10 Ma, la paragenèse observée à quartz-biotite-orthose-plagioclase-sphène-zircon est de type faciès amphibolitique.

Ces résultats montrent une similitude entre les âges des gneiss migmatitiques du Sud Maradi et ceux du Nord Nigéria. En effet, Au Nigéria, le métamorphisme des gneiss migmatitiques été datés à 565 ± 5 Ma Ar–Ar sur hornblende, 589 ± 11 U–Pb et 605 ± 10 Ma sur zircons ([12]; [13]; [14] et [15]). Par ailleurs, d'après [16] le métamorphisme serait de type "high amphibolite facies". Toutefois, la présence de gneiss migmatitiques dans ces deux régions (Sud Maradi et Nord Nigéria) implique un métamorphisme de plus haut grade pouvant atteindre le faciès granulite. En effet, [10] ont mis en évidence dans les gneiss migmatitiques du Sud-Est Nigéria un métamorphisme du haut grade de $850\text{--}890^\circ\text{C}$ et $9\text{--}10$ kbars en utilisant comme thermobaromètre l'assemblage grenat-biotite.

L'âge du métamorphisme de la ceinture de schistes de Maraka (505 ± 15 Ma, [5]) est très proche de celui de Wonaka (Nord Nigéria), $600\text{--}450$ Ma, suggéré par [17, 18]. Les schistes de Wonaka seraient une ancienne couverture néoprotérozoïque, déformée et métamorphisée dans le "green schist facies" [17, 18]. La présence des recristallisations de biotite et de chlorite (fig. 9-c, e et f) post-cinématiques dans les schistes du Sud Maradi, dénoterait un métamorphisme rétrograde du faciès

amphibolite au faciès schiste vert. Ces observations sont en accord avec celles de [10] qui ont mis en évidence les conditions d'un métamorphisme rétrograde allant de 6.8 kbar/780 °C à 3.8 kbar/590 °C dans la partie Ouest du bouclier Bénino-Nigérien.

En outre, dans le Sud Maradi, les granitoïdes panafricains ou "*Older Granites*" datés à 491±10 Ma et 475±10 Ma [5], sont représentés par des orthogneiss, à injection d'aplite et/ou de pegmatite, présentant une foliation mylonitique, d'orientation moyenne N25°. Au Nord Nigéria, ces granitoïdes panafricains présentent des âges allant de 750 à 450 Ma [19]. Ils sont représentés par des plutons de tonalite, de granodiorite, de diorite, de syénite et de charnockite généralement syn à post tectoniques, métamorphisés dans les conditions du faciès amphibolite [19]. La présence de charnockite dans la province du Nigéria suppose que le faciès granulite est localement atteint dans ces unités de granitoïdes anciens comme l'ont suggéré [10].

Une incertitude existe cependant, en ce qui concerne notamment le tracé du chemin du métamorphisme prograde et du rétro-métamorphisme, dans la mesure où les indicateurs thermo-barométriques montrent une tendance à la pérennisation du faciès amphibolite depuis la première période de déformation panafricaine jusqu'au stade de la mise en place des granitoïdes tardifs syn- à post-tectoniques.

Cette évolution métamorphique, vraisemblablement discontinue, montre une phase prograde puis rétrograde, synchrone d'une tectonique tangentielle puis transcurrente. Les augmentations de pression de 6.8 kbars à 9-10 kbars traduit un enfouissement des terrains, attribué à un épaississement crustal par empilements de nappes.

6 CONCLUSION

La prise en compte de la chronologie des assemblages minéralogiques et leur calage par rapport aux structures de déformation a permis de déterminer l'évolution des conditions thermo-barométriques du métamorphisme panafricain ayant affecté le Sud Maradi. L'évolution des paragenèses en liaison avec l'évolution thermo-barométrique montre, que la schistosité/foliation S1, synchrone de la première phase de déformation, se met en place pendant l'enfouissement associée à une anatexie. La schistosité/foliation S1 est synchrone d'un métamorphisme prograde (6.8 à 10 kbar) puis rétrograde (3.8 kbar). Ces observations sont corroborées par l'existence de plis anisopaques synchrones de la première phase de déformation et par l'existence de terrains anciens gneiss porphyroïdes ainsi que par l'existence de terrains très métamorphisés comme les gneiss migmatitiques associés à des néosomes de granites.

REFERENCES

- [1] Mignon R., Etude géologique et prospection du Damagaram Mounio et du Sud Maradi. Rapp. Bur. Rech. géol. Minière, Dir. Mines Géol., Niamey. Pp. 46-54, 1970.
- [2] Programme de renforcement et de la diversification du secteur minier au Niger (PRDSM), Ministère des Mines et de développement Industriel. 55p, 2005.
- [3] Baraou I. S., Konaté M., Ahmed Y., & Abdoul W. D., Caractérisation de la déformation du socle de la zone mobile panafricaine du Sud Maradi, Sud Niger. Afrique Science, 14 (1), 156-170, 2018.
- [4] Baraou S. I. and Konaté M. Kinematic evolution of the Pan-African shear zones of South Maradi, southern Niger. Glo. J. Earth Environ. Sci, Volume 5 (4), pages 101-116. <https://doi.org/10.31248/GJEES2020.087>, 2020.
- [5] Baraou I. S., & Konaté, M., New radiometric data from the South Maradi Pan-African formations, southern Niger. Geological Society, London, Special Publications, 502, <https://doi.org/10.1144/SP502-2019-151>, (2020).
- [6] Fati B. et Konaté M., Utilisation de la télédétection et du SIG pour la cartographie des zones minéralisées en or dans la province panafricaine du Sud est Niger (Sud Maradi et Damagaram-Mounio). Rev. Ivoir. Sci. Technol., 36 (2020) 230 – 252, 2020.
- [7] Baraou I. S., Konaté M., Ahmed Y. & Sani A., Indices De Minéralisations En Or Dans La Province Panafricaine Du Sud Maradi (Sud Niger). European Scientific Journal, ESJ, 17 (21), 238, (2021).
- [8] Trompette R., Le Précambrien supérieur et le Paléozoïque inférieur de l'Adrar de Mauritanie (bordure occidentale du bassin de Taoudeni, Afrique de l'Ouest). Un exemple de sédimentation de craton. Etude stratigraphique et sédimentologique. Thèse Doct. Ès-Sci. Univ. Aix-MarseilleIII, Trav. Lab. Sci. Terre St. Jérôme, Marseille, B, 7, 702 p, 1973.
- [9] Ferré E., Gleizes G., & Caby, R., Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-Saharan belt of Eastern Nigeria: a synthesis. Precambrian Research, 114 (3-4), 199-219, 2002.
- [10] Ugwuonah E. N, T., Toshiaki E., Barth N., Petrology and phase equilibrium modeling of granulites from Obudu in the Benin-Nigerian Shield, Southeastern Nigeria: implications for clockwise P-T evolution in a collisional orogeny, Miner Petrol 113, 353-368, DOI: 10.1007/s00710-019-00652-4, 2019.
- [11] Passchier C. W., & Trouw R. A. J. Microtectonics (Second edition), Springer-Verlag, Berlin, 2005.

- [12] Van Breemen O., Pidgeon R.T. and Bowden P., Age and isotopic studies of some Pan-African granites from north-central Nigeria. *Precambrian Res.*, 4: 307—319, 1977.
- [13] Dada S.S. and Respaut J.P., La monzonite à fayalite de Bauchi (bauchite), nouveau témoin d'un magmatisme syntectonique pan-africain au nord du Nigeria. *Comptes Rendus Academie Science de Paris* 309, 887–892, 1989.
- [14] Dada S.S., Tubosun I.A., Lancelot J.R. and Lar A.U., Late Archean U–Pb age for the reactivated basement of Northeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences* 16, 405–412, 1993.
- [15] Ferré E. C., Gleizes G. and Caby R., Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-Saharan belt of Eastern Nigeria: a synthesis. *Precambrian research*, 114 199 - 219 p, 2002.
- [16] Olusiji S. A., Geology and structure of the Precambrian rocks in Iworoko, Are, and Afao Area, Southwestern, Nigeria. *International Research Journal of Natural Sciences*, 1 (1), 14-29, 2013.
- [17] Abubakar Y. I., An integrated technique in delineating structures: A Case study of the Kushaka Schist Belt Northwestern Nigeria. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2 (5), 164-173, 2012.
- [18] Ogezi A.E.O., Geochemistry and geochronology of basement rocks from north western Nigeria. Ph.D. Thesis, Leeds University, 1977.
- [19] Okonkwo C. T., & Ganey V. Y., Geochemistry and geochronology of orthogneisses in Bode Saadu area, southwestern Nigeria and their implications for the Palaeoproterozoic evolution of the area. *Journal of African Earth Science*, 109, 131-142, 2015.

Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles marocaines vis-à-vis de la mouche de Hesse (*Mayetiola destructor* (Say))

[Study of the insecticidal activity of moroccan essential oils against the Hessian fly (*Mayetiola destructor* (Say))]

Rachid Ismaili¹, Sanaa Lanouari², Rachida Othmane², Abdeslam Lamiri¹, and Khadija Moustaid¹

¹Laboratoire de Chimie appliquée et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan 1, Km 3, B.P. 577, Settat, Morocco

²Laboratoire de Biologie, Santé et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan 1, Km 3, B.P. 577, Settat, 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: Morocco has a large number of aromatic and medicinal plants, but this wealth remains untapped, especially for cosmetic and therapeutic purposes. These plants are used since centuries, allowing the moroccan population of several regions to accumulate expertise in herbal medicine. Among the secondary metabolites extracts of these plants, there are the essential oils which are mixtures of aromatic substances present in the form of tiny droplets in the leaves, peel fruit, resins, branches, and wood. These oils are a very interesting group, who are endowed with insecticidal properties. In order to find alternatives to chemical insecticides of synthesis, it is necessary to find and promote new phytosanitary practices that would have effects on the one hand, obtaining agricultural products of good market value, and on the other hand, respecting socio-ecological concepts of each ecosystem in preserving our environment in the long term. It is in this perspective that this study enrolled to evaluate the insecticidal activity of essential oils of three moroccan aromatic and medicinal plants: *Thymus vulgaris*, *Mentha spicata* and *Citrus limonum*. The results showed that the most important insecticidal activity was obtained for *Thymus vulgaris* essential oil followed by the *Mentha spicata* oil while the lowest activity was observed in *Citrus limonum*.

KEYWORDS: Essential oil, *Thymus vulgaris*, *Mentha. spicata*, *Citrus limonum*, insecticidal activity, Hessian fly.

RESUME: Le Maroc dispose d'un grand nombre de plantes aromatiques et médicinales, mais cette richesse reste peu exploitée, notamment à des fins cosmétiques et thérapeutiques. Ces plantes sont utilisées depuis des siècles, permettant à la population marocaine de plusieurs régions d'accumuler un savoir-faire en phytothérapie. Parmi les métabolites secondaires extraits de ces plantes, on trouve les huiles essentielles qui sont des mélanges de substances aromatiques présentes sous forme de minuscules gouttelettes dans les feuilles, les écorces des fruits, les résines, les branches et le bois. Ces huiles sont dotées de propriétés insecticides très intéressantes. Dans le but de trouver des alternatives aux insecticides chimiques de synthèse, il est nécessaire de rechercher et de promouvoir de nouvelles pratiques phytosanitaires qui auraient pour effets, d'une part, l'obtention de produits agricoles de bonne valeur marchande, et d'autre part, le respect des concepts socio-écologiques de chaque écosystème en préservant ainsi à long terme notre environnement. C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude afin d'évaluer l'activité insecticide des huiles essentielles de trois plantes aromatiques et médicinales marocaines: *Thymus vulgaris*, *Mentha spicata* et *Citrus limonum*. Les résultats obtenus ont montré que la plus importante activité insecticide a été obtenue chez l'huile essentielle du *Thymus vulgaris* suivie de l'huile du *Mentha spicata* tandis que la plus faible activité a été observée chez *Citrus limonum*.

MOTS-CLEFS: Huile essentielle, *Thymus vulgaris*, *Mentha spicata*, *Citrus limonum*, activité insecticide, mouche de Hesse.

1 INTRODUCTION

Les huiles essentielles (HE), sont des mélanges de substances aromatiques produites par de nombreuses plantes et présentes sous forme de minuscules gouttelettes dans les feuilles, la peau des fruits, la résine, les branches et le bois [1]. Ce sont des mélanges de composés lipophiles. Elles se distinguent des huiles végétales fixes par leur volatilité chimique [2]. Cependant, un très grand nombre de plantes aromatiques ont montré des effets biocides contre divers ravageurs des cultures agricoles et même contre les champignons et les bactéries [3]. Cependant, la lutte chimique par des insecticides synthétiques reste, pour des raisons économiques et de facilité de mise en œuvre, la méthode la plus utilisée. Néanmoins, l'application abusive et non raisonnée de ces produits conventionnels a fait apparaître une pollution de l'environnement, des problèmes de la résistance et de la nocivité [4]. Tous ces obstacles ont abouti à la nécessité de trouver des alternatives plus efficaces et plus saines. Le choix de ces molécules, relativement récentes, permet de répondre non seulement aux problèmes liés à la résistance vis-à-vis des insecticides classiques, mais s'accorde aussi aux principes de développement durable, du fait de leur faible impact écotoxicologique [5].

La présente étude a pour objectif de découvrir une solution alternative basée sur l'utilisation des produits bio-insecticides obtenus à partir des plantes aromatiques, afin de lutter contre la cécidomyie du blé causée par la mouche de Hesse (*Mayetiola destructor* (Say)). C'est une maladie reconnue depuis plusieurs années qui menace la production du blé au Maroc [6]. Pour répondre à cet objectif, nous avons évalué l'activité insecticide des HE de trois plantes aromatique marocaines: *Thymus vulgaris* (*T. vulgaris*), *Mentha spicata* (*M. spicata*), et *Citrus limonum* (*C. limonum*) vis-à-vis des adultes et des œufs de la mouche de Hesse.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les échantillons de *T. vulgaris* ont été cueillis dans la province de Tafilalet, *C. limonum* dans la province d'Agadir et *M. spicata* dans la province de Settat. Les cueillettes ont été réalisées pendant le mois d'Avril. Les feuilles du thym, de la menthe ainsi que les fruits du *C. limonum* ont été coupés à la main et mises dans des sacs cartonnés, transportés au laboratoire et stockés à température ambiante jusqu'à leur utilisation.

2.1.2 PRÉPARATION DES HUILES ESSENTIELLES

Les HE ont été préparées par hydrodistillation, en utilisant un appareil de type Clevenger [7], dans un ballon de 5 litres contenant 2 litres d'eau distillée et surmonté d'une colonne de 60 cm de longueur et 2 cm de diamètre reliée à un réfrigérant.

Les extractions ont été répétées trois fois pour chaque HE afin de récupérer des volumes considérables. Après l'élimination des traces d'eau par du sulfate de sodium anhydre, les HE obtenues ont été stockées dans des petits flacons opaques et mises dans un réfrigérateur à 4°C jusqu'à l'utilisation pour les tests de l'activité insecticide.

2.1.3 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Afin d'avoir un nombre considérable de mouche pour notre étude, un élevage a été effectué au laboratoire d'entomologie du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat. Les grains de la variété sensible à la cécidomyie *Nessma* ont été semés dans des plateaux en plastique (54 x 36 x 8 cm) et infestés par la mouche. L'inoculum initial de la mouche a été collecté à la région de Sidi El Aidi (Settat). Lorsque les larves ont atteint le stade pupes, les plantes portant ces pupes sont déterrées, débarrassées de leurs feuilles, enroulées dans du papier journal, et stockées à 5°C. Quinze jours avant l'infestation les plantes stockées sont retirées du réfrigérateur, mises dans des plateaux, arrosées et laissées sous les conditions ambiantes de température du laboratoire pour lever la diapause. Les adultes qui émergent sont collectés à l'aide d'un aspirateur confectionné spécifiquement pour cette opération, et utilisés pour l'infestation.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 TECHNIQUE DE FUMIGATION APPLIQUEE AUX ADULTES DE LA MOUCHE DE HESSE

La méthode utilisée [3] consiste à la fumigation avec les HE du *T. vulgaris*, *M. spicata* et *C. limonum* et a été effectuée dans des bouteilles en plastiques hermétiques et transparentes, de capacité de 1 litre comme chambres d'exposition pour tester la toxicité de ces HE contre les adultes de la mouche. Chaque répétition se compose de dix adultes de la mouche de Hesse. Les tests ont été effectués sous les conditions d'élevage. Les HE ont été étalées sur papier filtre qu'on a mis à l'intérieur de la chambre d'exposition. On a utilisé des volumes progressifs en HE, pour cela cinq volumes ont été appliqués (5 µl, 10 µl, 15 µl, 20 µl et 25 µl) et un lot non-traité a servi de témoin. Le contrôle de la mortalité s'est fait par dénombrement d'insectes morts durant 15, 30, 60, 90 et 120 minutes d'exposition aux HE.

2.2.2 TECHNIQUE DE FUMIGATION APPLIQUEE AUX ŒUFS DE LA MOUCHE DE HESSE

La méthode utilisée est celle de Lamiri et *al.* (2001) [3]. Les grains de la variété *Nesma* ont été semés dans des pots individuels (11 cm x 9,5 cm) contenant une mixture de la tourbe (2/3) et du sol agricole (1/3). Quand les plantes ont atteints le stade deux feuilles, deux plantes ont été maintenues par pot et chaque pot a été couvert par un cylindre en polyvinyle plastique (6 cm x 17,5 cm) correspondant à un volume de 0,5 litre d'air. Ce cylindre a été couvert par un film en plastique afin d'éviter l'évaporation des HE.

Les plantes ont été infestées par des mouches femelles fécondées à raison de 5 mouches/pot et pour une durée de quatre heures. Lorsque le temps de la ponte a été écoulé, les mouches femelles étaient retirées des pots. L'infestation a été vérifiée sur les plantes et vingt œufs ont été maintenus sur les feuilles. Les plantes infestées ont ensuite été exposées aux différentes HE pendant 24 h. Enfin, l'évaluation des plantes a été faite par observation sous une loupe binoculaire.

2.2.3 ANALYSE STATISTIQUE

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne de trois essais $\pm$ SEM (Standard Error of the Mean). La variabilité des paramètres étudiés a été testée selon les différentes concentrations en HE par rapport des taux de mortalité des adultes et des œufs de la mouche de Hesse. Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel *SPSS Statistics version 20* et les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de la variance.

3 RESULTATS

3.1 RENDEMENTS DE L'HYDRODISTILLATION EN HUILES ESSENTIELLES

Les rendements de l'hydrodistillation en huiles essentielles des plantes étudiées sont représentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Rendements de l'hydrodistillation en huiles essentielles du *T. vulgaris*, *M. spicata* et du *C. limonum*

Plantes médicinales étudiées	Rendements en huiles essentielles (%)
<i>Thymus vulgaris</i>	0,65
<i>Mentha spicata</i>	0,72
<i>Citrus limonum</i>	0,75

Les résultats obtenus sont variables par rapport à ceux trouvés par d'autres auteurs, pour le *C. limonum*, le rendement trouvé est de 0,75 %, donc supérieur à celui obtenu par Makuba [8], qui est de 0,5 %. Pour la *M. spicata* notre rendement est de 0,72 % tandis que pour Adjou et Soumanou [9], il est de 0,96 % et enfin pour la *T. vulgaris*, le rendement était de 0,65 % ce qui est inférieur à celui trouvé par Carolina et *al.* [10], qui est de 1,76 %. Ces variations peuvent être dues à des facteurs abiotiques, tels que le climat spécifique des régions d'origine des échantillons, des facteurs géographiques comme l'altitude, le type de sol et la saison des cueillettes.

3.2 EFFET DES HUILES ESSENTIELLES SUR LES ADULTES DE LA MOUCHE DE HESSE

3.2.1 CAS DE L'HUILE ESSENTIELLE DU THYMUS VULGARIS

Les résultats présentés sur la figure 1, montrent que l'HE du *T. vulgaris* a provoqué une mortalité par fumigation des adultes de la mouche de Hesse. Le taux de mortalité dépend de la concentration en HE et du temps d'exposition.

Pour les concentrations 15, 20 et 25 $\mu\text{l/l}$, les taux de mortalité enregistrés sont respectivement de 30, 40 et 70 % dès les premières 15 minutes. Tandis que, cette durée d'exposition n'a provoqué aucune mortalité pour les concentrations 5 et 10 $\mu\text{l/l}$. Pour les concentrations 5 et 10 $\mu\text{l/l}$, les taux de mortalité atteints respectivement 70 et 80 % après 120 min d'exposition. Les résultats obtenus montrent aussi que la concentration 25 $\mu\text{l/l}$ a provoqué 100 % de mortalité à partir de 30 min.

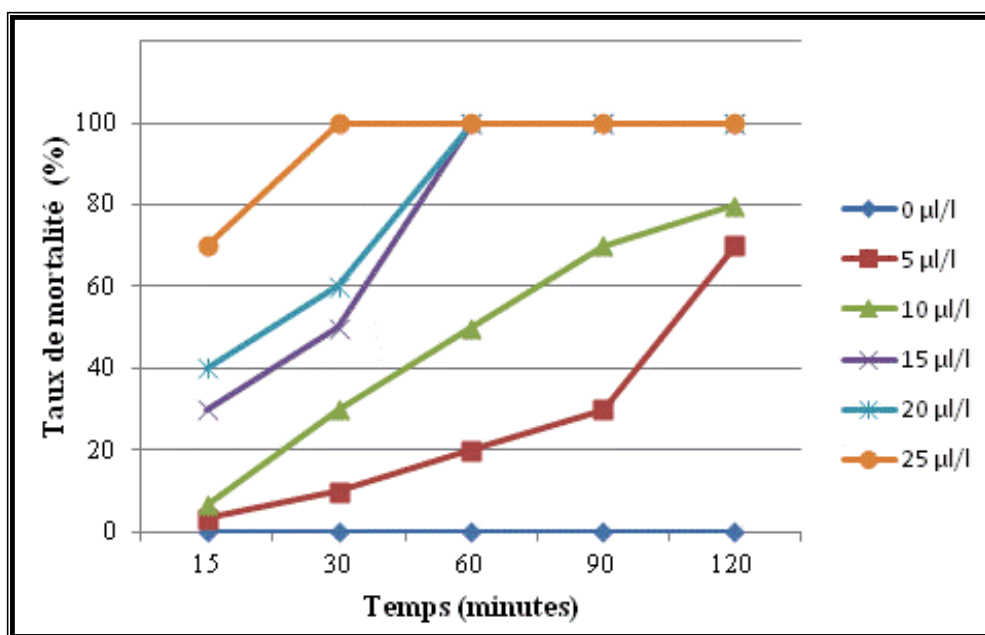


Fig. 1. Effet de l'huile essentielle du *T. vulgaris* sur les adultes de la mouche de Hesse

3.2.2 CAS DE L'HUILE ESSENTIELLE DU MENTHA SPICATA

L'effet de fumigation de l'HE du *M. spicata* sur les adultes de la mouche de Hesse a été représenté graphiquement sur la figure 2. Les taux de mortalité enregistrés ont passé respectivement de 3, 6, 10, 20 et 30 % pendant les premières 15 minutes, pour atteindre 30, 40, 70, 80 et 100 % après 120 min d'exposition à HE. Comme la montre la figure 2, la mortalité totale des adultes n'est atteinte qu'avec une concentration de 25 $\mu\text{l/l}$ et une durée d'exposition de 120 min.

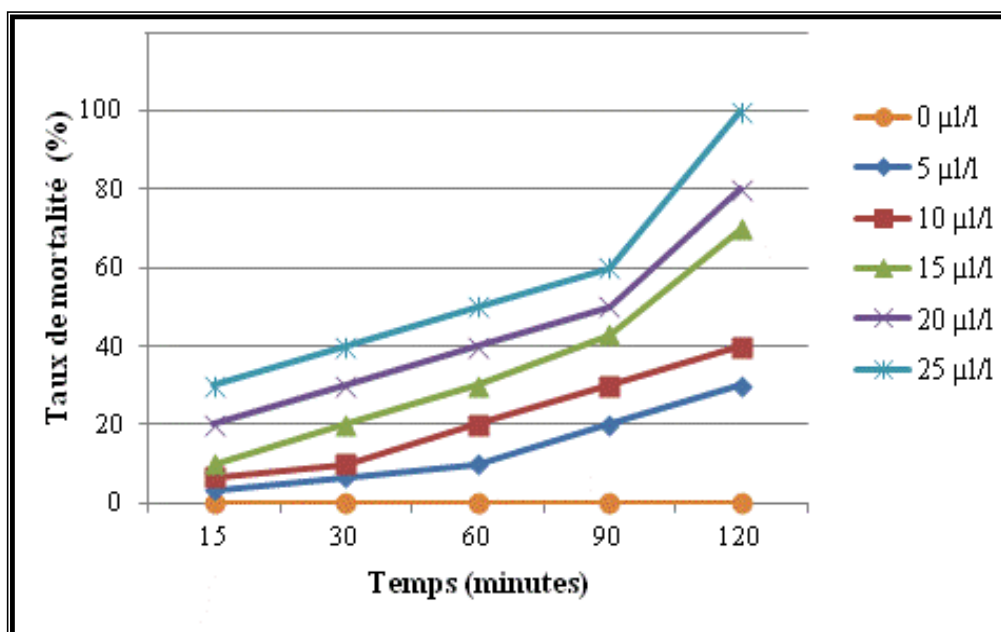


Fig. 2. Effet de l'huile essentielle du *M. spicata* sur les adultes de la mouche de Hesse

3.2.3 CAS DE L'HUILE ESSENTIELLE DU CITRUS LIMONUM

L'activité insecticide par fumigation de l'HE du *C. limonum* sur les adultes de la mouche de Hesse, s'est avéré très faible, vu les résultats obtenus sur la figure 3.

Durant les 15 premières minutes de l'exposition à l'HE, les concentrations 5, 10 et 15 µl/l, n'ont provoquées aucune mortalité, tandis que les concentrations 20 et 25 µl/l ont montré des taux de mortalité qui sont respectivement 7 et 20 %. La concentration maximale (25 µl/l), ne provoque que 60 % comme taux de mortalité au bout de 120 min.

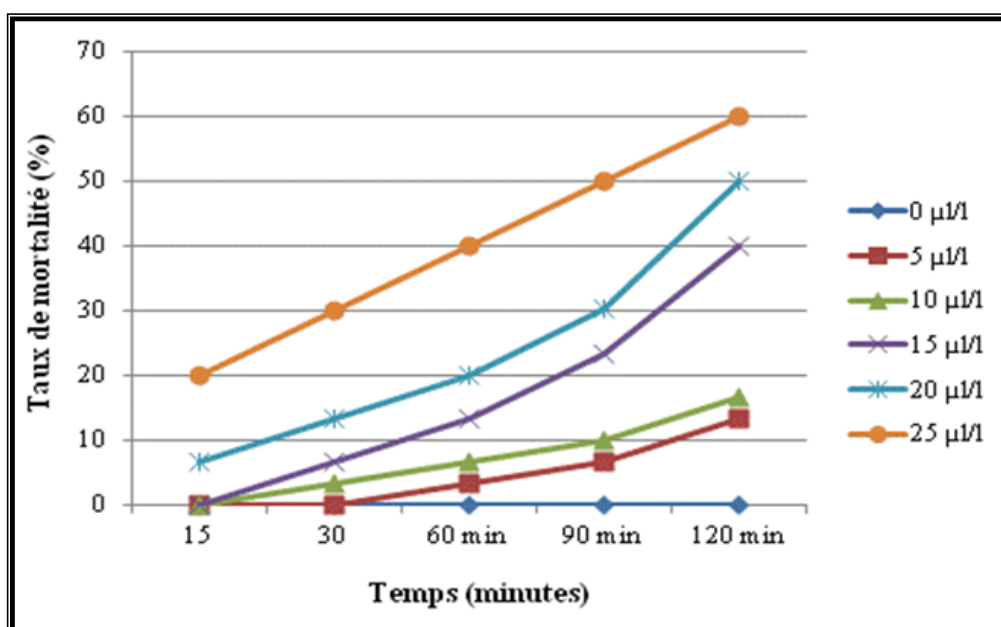


Fig. 3. Effet de l'huile essentielle du *C. limonum* sur les adultes de la mouche de Hesse

3.3 EFFET DES HUILES ESSENTIELLES SUR LES ŒUFS DE LA MOUCHE DE HESSE

L'effet des trois HE sur les œufs de la mouche de Hesse est également étudié pour une durée de 24 heures. Les résultats obtenus dans cette expérimentation sont représentés sur la figure 4. Ils montrent que le taux des œufs morts par fumigation varie en fonction des concentrations en HE.

Pour la plus faible concentration (5 µl/l) de chacune des trois huiles étudiées, on remarque que l'HE du *T. vulgaris* présente un taux de mortalité plus important (43 %) que ceux trouvés pour les HE du *C. limonum* et du *M. spicata* qui sont respectivement 36 % et 39 %. Pour ces trois HE, ce taux de mortalité atteint 100 % à la concentration de 25 µl/l.

L'analyse de la variance des taux de mortalité des œufs associés avec le facteur concentration des différentes huiles étudiées, montre que l'HE du *T. vulgaris* présente des valeurs significatives ($p < 0,01$) pour les concentrations de 5 et 20 µl/l et surtout pour celle de 15 µl/l. Cette différence indique bien l'effet du traitement par fumigation de l'HE du *T. vulgaris* sur les taux de mortalité des œufs par rapport aux autres huiles.

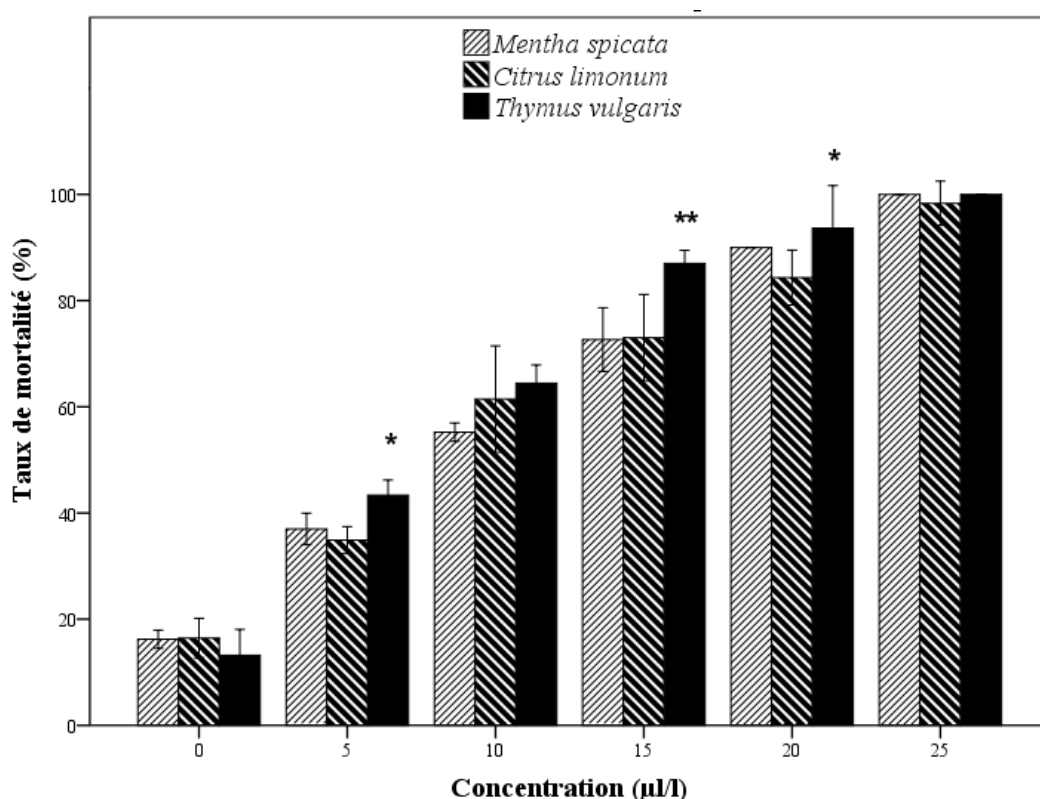


Fig. 4. Effet des huiles essentielles sur les œufs de la mouche de Hesse

L'HE du *T. vulgaris* a montré un effet insecticide plus important que celui des HE du *C. limonum* et du *M. spicata*, sur les adultes et les œufs de la mouche de Hesse. Ce résultat permet de valoriser d'avantage les HE en mettant l'accent sur leur effet toxique sur la mouche de Hesse. L'HE du *T. vulgaris*, est le meilleur exemple. Les principaux composés chimiques de l'HE du *T. vulgaris* d'après Ismaili et al. (2014), sont le thymol (42 %), le p-cymène (23,7 %) et le γ-terpinène (15,5 %). Cette huile a été déjà étudiée en aromathérapie anti-infectieuse par Boukhatem et al. (2014). Il serait intéressant de projeter l'utilisation de la fraction aromatique du thym, comme principe actif, dans des préparations galéniques à visée antiseptique ou pour lutter contre les infections microbiennes aéroportées.

L'activité insecticide d'une HE peut être due soit à son composé majeur ou de la synergie et/ou des effets antagonistes de tous ses composants (Lamiri et al., 2001). Krishnarajah et al. (1985), ont démontré que l'association du p-cymène et du β-pinène entraîne une toxicité plus élevée chez *Sitotroga cerealella* que celle des composants utilisés séparément. D'autre part, la composition chimique d'une HE peut varier en fonction de certains paramètres tels que la zone géographique, la saison des cueillettes, la technique d'extraction, la partie de la plante utilisée et la présence de chémotypes dans les mêmes espèces (Benjlali et al., 1984), et *T. vulgaris* (Granget et Passet, 1973). Les essences végétales les plus efficaces sont celles qui ont un

large spectre d'activité pendant les différentes étapes de développement de l'agent nuisible (mouche de Hesse), cela a été le cas du *T. vulgaris*, qui dans notre étude a provoqué un taux de mortalité de 100 % chez les adultes et les œufs de la mouche de Hesse.

L'évolution des insecticides naturels ou biologiques contribuera à diminuer les conséquences néfastes causées par les insecticides chimiques. Ces bio-insecticides efficaces, sélectifs, biodégradables, et non toxiques pour l'environnement, contribuent à l'amélioration de la production agricole marocaine.

4 CONCLUSION

Les trois huiles essentielles ont montrés une efficacité contre les différents stades de développement de la mouche de Hesse qui représente une grande menace pour l'agriculture du blé au Maroc. Les résultats obtenus ont montrés que l'HE du *Thymus vulgaris* possède une efficacité plus importante par rapport aux deux autres huiles contre les œufs, les larves et les adultes de la mouche de Hesse.

Comme perspective à cette étude, l'utilisation de ces HE comme bio-insecticide pour la lutte contre la mouche de Hesse peut être envisagée.

REFERENCES

- [1] F. Padrini, M.T. Lucheroni, " Le grand livre des huiles essentielles-guide pratique pour retrouver vitalité, bien-être et beauté avec les essences et l'aromassage" Ed. De Vecchi, Paris, p. 11, 15, 61 et 111, 1996.
- [2] C. Regnault-Roger, C. Vincent, J.T. Arnason, "Essential Oils in Insect Control: Low-Risk Products in a High-Stakes World" Ann. Rev. Entomol. 57, 405-424, 2012.
- [3] A. Lamiri, S. Lhaloui, B. Benjilali, Berrada M, "Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola Destructor* (Say)" Field Crops Res., 71, p. 9-15, 2001.
- [4] M.L. Yang, J.Z. Zhang, K.Y. Zhu, T. Xuan, X.J. Liu, Y.P. Guo, E.B. Ma, "Mechanisms of organophosphate resistance in a field population of oriental migratory locust, *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)" Arch. Insect Biochem. Physiol. 71: 3-15, 2009.
- [5] M. Chaabane, S. Benchaabane, S. Kilani-Morakchi, N. Aribi, "Physiotoxicité du spinosad, évaluée sur deux générations, chez une espèce invasive, *tuta absoluta* (Lepidoptera), et chez un modèle de référence" Bull. Soc. Zool. Fr., 137, 61-72, 2012.
- [6] DROSOPHILA MELANOGASTER (DIPTERA).
- [7] S. Lhaloui, M. El Bouhssini, N. Naserlhaq, A. Amri, M. Nachit, J. El Haddoury, M. Jlibene, "Les cécidomyies des céréales au Maroc: Biologie, Dégâts et Moyens de lutte" Publication INRA, Rabat, p. 8-26, 2005.
- [8] R. Ismaili, A. Lamiri, K. Moustaid, "Study of Antibacterial Activity of Essential Oils of Three Aromatic and Medicinal Plants" Int. J. Eng. Res. Tech. 3, 1247-1251, 2014.
- [9] T.S. Makuba, "Contribution a la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes" Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences de l'ULG. Université de Liège, 160 p, 2012.
- [10] E.S. Adjou, M.M. Soumanou, "Efficacité des extraits de plantes contre les moisissures toxigènes isolées de l'arachide" J. Appl. Biosci., p. 5555-5566, 2013.
- [11] F. Carolina, F. Chini-Queiroz, R. Kummer, C. Fernanda Estevao-Silva, M. Dalva de Barros Carvalho, J. Maria Cunha, R. Grespan, C. Aparecida, B. Amado, R. Kenji Nakamura, "Effects of Thymol and Carvacrol, Constituents of *Thymus vulgaris* L. Essential Oil, on the Inflammatory Response" Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, p. 2, 2012.
- [12] R. Ismaili, A. Lamiri, K. Moustaid, "Etude de l'activité antifongique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques marocaines" Int. J. Inn. Sci. Res. 12, 499-505, 2014.
- [13] M.N. Boukhatem, M.A. Ferhat, A. Kameli, F. Saidi, H. Taibi, J. Djamel, "Valorisation de l'essence aromatique du Thym (*Thymus vulgaris*) en aromathérapie anti-infectieuse" International Journal of Innovation and Applied Studies, 8 (4), p. 1418-1431, 2014.
- [14] S.R. Krishnarajah, V.K. Ganesalingam, U.M. Senanayake, "Repellency and toxicity of some plants oils and their terpene components to *Sitotroga cerealella* (olivier) (Lepidoptera, Gelechiidae)" Trop. Sci., 25 (4), p. 249-252, 1985.
- [15] B. Benjilali, A. Tantaoui-Elaraki, M. Hilal, "Method to study antimicrobial effect of essential oils. Application to the antifungal activity of six moroccan essences" J. Food Protect., 47 (10), p. 748-752, 1984.
- [16] R. Granget, J. Passet, "Chemical composition and antibacterial activity of *Thymus vulgaris* L." Phytochemistry 12, 1683-1691, 1973.

Étude ethnobotanique de plantes aromatiques et médicinales marocaines

[Ethnobotanical study of moroccan aromatic and medicinal plants]

Rachid Ismaili¹, Sanaa Lanouari², Abdeslam Lamiri¹, and Khadija Moustaid¹

¹Laboratoire de Chimie appliquée et Environnement, Université Hassan 1, Faculté des Sciences et Techniques,
Km 3, B.P. 577, Settat, Morocco

²Laboratoire de Biologie, Santé et Environnement, Université Hassan 1, Faculté des Sciences et Techniques,
Km 3, B.P. 577, Settat, 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: The sector of aromatic and medicinal plants in Morocco is full of potential thanks to the diversity of plant species. Therefore, more than 4000 species have been identified of which 800 are endemic and 600 are classified as products for aromatic or medicinal use, which has allowed it to be ranked well globally.

Annual national productions amount to several hundred thousand tonnes while providing alternative income to local communities, generating tens of thousands of working days each year.

This ethnobotanical study was carried out in several moroccan cities and for this purpose we have set three objectives: determining the frequency of use of medicinal plants by the population, the choice of aromatic plants most used in moroccan folk medicine, and particularly the biological activities sought in our work and the collection of information on selected plants using two types of questionnaires that have been addressed to the general public and herbalists. The results obtained constitute a very valuable source of information for the regions studied and for the national medicinal flora. They could be a database for further research in the fields of phytochemistry and pharmacology and in order to search for new natural substances.

KEYWORDS: Aromatic plants, medicinal plants, ethnobotanical survey, Moroccan folk medicine, flora.

RESUME: La filière des plantes aromatiques et médicinales au Maroc regorge de potentiel grâce à la diversité des espèces végétales. Par conséquent, plus de 4000 espèces ont été identifiées dont 800 sont endémiques et 600 sont classées comme produits à usage aromatique ou médicinal, ce qui lui a permis d'être bien classé au niveau mondial.

Les productions nationales annuelles s'élèvent à plusieurs centaines de milliers de tonnes tout en procurant des revenus alternatifs aux communautés locales, générant des dizaines de milliers de journées de travail chaque année.

Cette étude ethnobotanique a été réalisée dans plusieurs villes marocaines et pour cela nous avons fixé trois objectifs qui sont: la détermination de la fréquence d'utilisation des plantes médicinales par la population, le choix de plantes aromatiques les plus utilisées en médecine populaire marocaine, et particulièrement les activités biologiques recherchées dans notre travail et enfin, la collecte des informations sur les plantes choisies en utilisant deux types de questionnaires qui ont été adressé au grand public et aux herboristes. Les résultats obtenus constituent une source d'information très précieuse pour les régions étudiées et pour la flore médicinale nationale. Ils pourraient être une base de données pour les recherches ultérieures dans les domaines de la phytochimie, de la pharmacologie et dans le but de chercher de nouvelles substances naturelles.

MOTS-CLEFS: Plantes aromatiques, plantes médicinales, enquête ethnobotanique, médecine populaire marocaine, flore.

1 INTRODUCTION

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales (PAM) est associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, ces plantes ont toujours occupé une place importante en médecine. Les plantes médicinales renferment un ou plusieurs principes actifs capables de prévenir, soulager ou guérir des maladies [1]. Il est estimé qu'au moins 25% de tous les médicaments modernes sont dérivés, directement ou indirectement, à partir de plantes médicinales, principalement grâce à l'application des technologies modernes aux connaissances traditionnelles [2]. L'importance des PAM ne cesse d'augmenter en relation, d'une part, avec la forte augmentation de la demande mondiale enregistrée ces dernières décennies pour les PAM et leurs produits dérivés et, d'autre part, avec le nombre croissant d'utilisateurs et la diversité des domaines de leur valorisation [3].

La références médicinales marocaines montre que les données régionales relatives aux PAM sont très fragmentaires, de même le savoir-faire n'est détenu actuellement que par peu de personnes [4]. Et afin d'enrichir la références nationale sur les PAM et leurs vertus thérapeutiques, les enquêtes ethnobotaniques constituent la meilleure solution à envisager.

Plusieurs travaux de recherche ont permis de mettre en évidence qu'une sélection d'espèces végétales, effectuée selon des critères basés sur l'ethnobotanique médicale et l'ethno-pharmacologie ont abouti à la découverte de principes actifs d'intérêt thérapeutique qu'un criblage de plantes effectué au hasard [5], [6]. En outre, d'après Derridj et *al.* [7], le savoir thérapeutique traditionnel transmis de génération en génération chez les populations rurales, est un héritage familial oral, dominant en particulier chez les femmes âgées et illettrées. La préservation de ce patrimoine ancestral en voie d'érosion est plus qu'indispensable et sa perte serait irréversible pour l'humanité, si aucun effort n'est déployé pour sa transcription fidèle et urgente [7].

D'après notre enquête ethnobotanique, nous avons déterminé la fréquence d'utilisation des PAM par la population enquêtée et on a choisis trois plantes aromatiques qui sont les plus utilisées par la population et surtout pour les activités biologiques recherchées dans notre travail. Ces espèces sont: *Mentha spicata*, *Thymus vulgaris* et *Citrus limonum*. C'est dans ce but que nous avons réalisé cette enquête, afin de préserver le patrimoine naturel marocain.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PERIODE D'ETUDE

Nous avons réalisé cette enquête ethnobotanique entre le mois d'Avril et le mois de Juillet 2010.

2.2 ZONES D'ETUDE

Cette étude ethnobotanique a été réalisée dans cinq villes marocaines: Settat, Agadir, Marrakech, Rabat et Salé. La figure 1 représente les situations géographiques de ces zones d'étude.



Fig. 1. Situations géographiques des zones d'étude ethnobotanique

2.3 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Les villes marocaines choisies pour la réalisation de cette enquête se caractérisent par des conditions naturelles favorables, d'une infrastructure agroindustrielle, de communications, et d'un marché de plantes médicinales à portée régionale.

2.4 METHODOLOGIE

2.4.1 ENQUETE ETHNOBOTANIQUE

L'enquête ethnobotanique a été réalisée en utilisant deux types de questionnaires (figures N°2 et N°3). Le premier questionnaire a été utilisé pour évaluer la fréquence d'utilisation des PAM par la population et le deuxième a visé la collecte d'informations sur les plantes aromatiques choisies pour notre travail.

Fiche N° :.....

Âge :

Sexe : M ☐ F ☐

Situation familiale :

Lieu :

Niveau d'étude :

Niveau socio-économique :

Utilisation des plantes médicinales : OUI ☐ NON ☐

Fig. 2. Questionnaire N°1 de l'enquête ethnobotanique

Fiche N° :.....

Âge :

Sexe : M ☐ F ☐

Situation familiale :

Lieu :

Niveau d'étude :

Niveau socio-économique :

PLANTES CHOISIES:

Nom scientifique :

Quelles sont les parties récoltées ?.....

Quand doit-on récolter ?.....

Faut-il l'utiliser à l'état frais ou sec ?

Comment se fait le séchage ?

Quelles sont les propriétés pharmacologiques ?.....

Quelles sont les types de préparations ?

Quelles sont les voies d'administration ?.....

Quels sont les effets secondaires ?.....

Quelles sont les doses thérapeutiques utilisées ?.....

Fig. 3. Questionnaire N°2 de l'enquête ethnobotanique

2.4.2 TRAITEMENT DES DONNEES

L'échantillonnage adopté est de type aléatoire et le dialogue s'est fait en arabe dialectal marocain. Les informations recueillies ont concerné le profil des personnes interrogées et les données ethnopharmacologiques des plantes choisies telles que les usages, les parties utilisées, les modes de préparation, les voies d'administration etc. Les données recueillies sont notées sur les questionnaires utilisées dans l'enquête et ensuite saisies et analysées statistiquement.

3 RESULTATS

3.1 UTILISATION DE LA MEDECINE TRADITIONNELLE PAR LA POPULATION

Parmi 300 personnes (hommes et femmes) dont l'âge varie entre 17 et 60 ans, qui ont été interrogées dans les villes choisies pour cette enquête, 182 ont recours à la médecine traditionnelle et 118 à la médecine moderne.

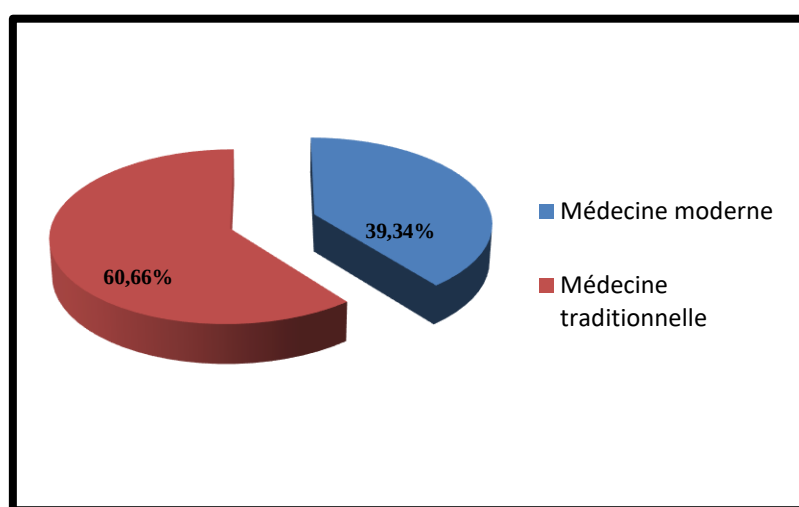


Fig. 4. Répartition des enquêtés selon l'utilisation de la médecine traditionnelle ou moderne

FREQUENCE D'UTILISATION DES PAM SELON LE PROFIL DES ENQUETES

✓ APPROCHE GENRE

Les résultats obtenus montrent que les PAM sont beaucoup plus utilisées par les femmes que les hommes (figure 5).

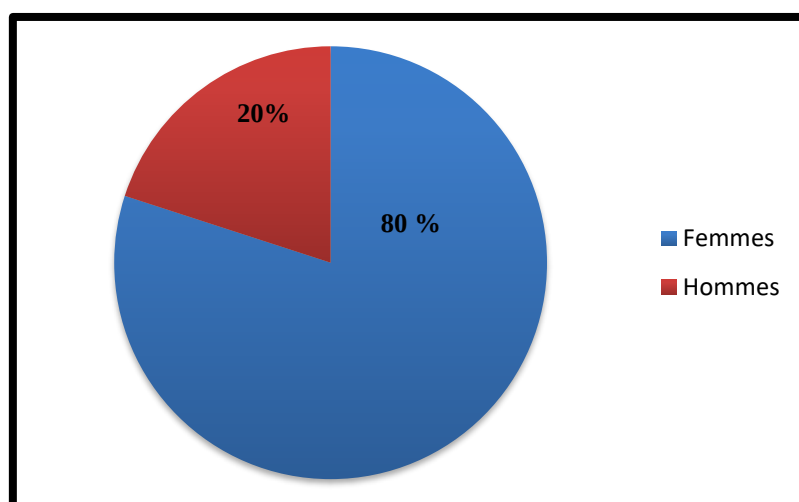


Fig. 5. Répartition des enquêtés selon le genre

✓ CLASSE D'ÂGE

Les personnes âgées de 50 à 60 ans ont une fréquence d'utilisation des plantes médicinales de 60 %, tandis que la tranche d'âge [17-50] vient ensuite avec un pourcentage d'utilisation de 40 % (figure 6).

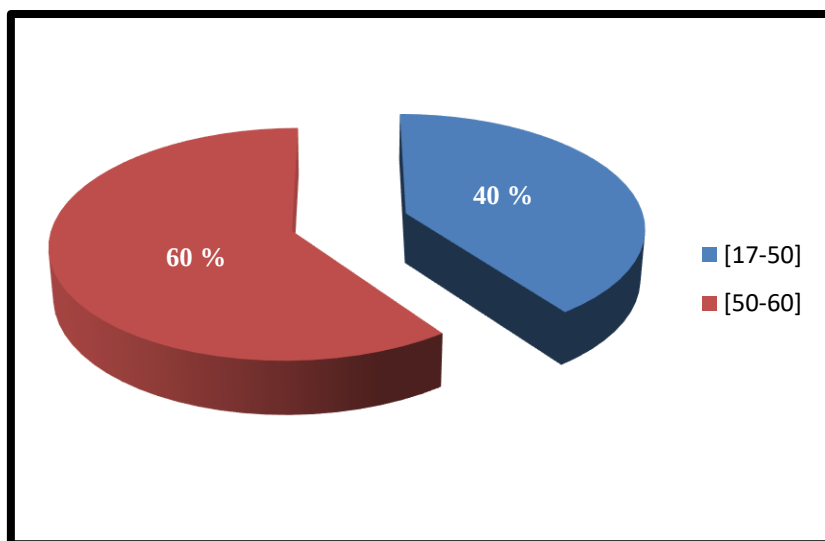


Fig. 6. Répartition des enquêtes selon la classe d'âge

✓ NIVEAU D'ÉTUDE

Les résultats obtenus montrent que 70% des enquêtés sont analphabètes, alors que 10% ont un niveau primaire et 12% ont un niveau secondaire. Les universitaires par contre utilisent peu les plantes médicinales avec un pourcentage de 8% (figure 7).

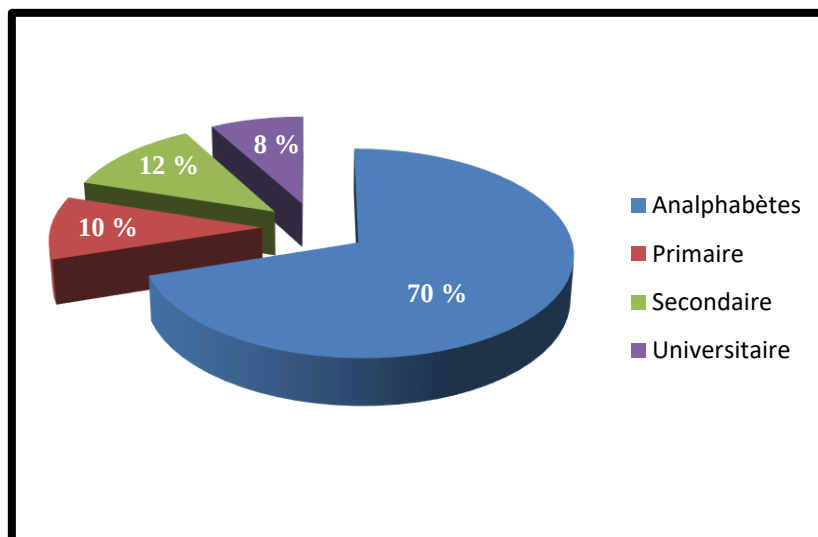


Fig. 7. Répartition des enquêtes selon le niveau d'étude

✓ SITUATION FAMILIALE

Les plantes médicinales sont beaucoup plus utilisées par les personnes mariées (70%) que par les célibataires (30%) (figure 8).

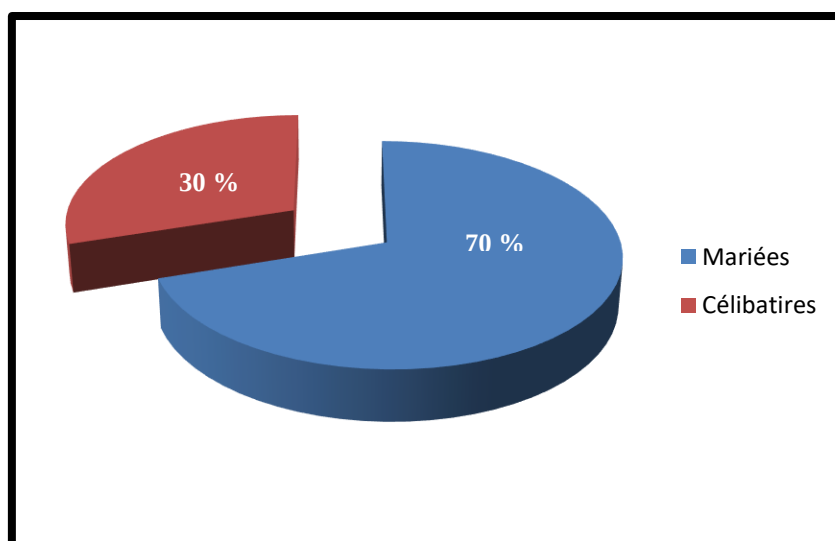


Fig. 8. Répartition des enquêtés selon la situation familiale

3.2 DONNEES SUR LES HERBORISTES INTERROGES

La deuxième partie de notre enquête a concerné 100 herboristes (hommes et femmes) interrogés, ont un âge variant entre 25 et 65 ans et des niveaux d'étude très différents: 80 % des herboristes sont analphabètes, 7 % ont un niveau primaire et 7 % ont un niveau secondaire. Les universitaires ne représentent que 6% (figure 9).

✓ NIVEAU D'ETUDE

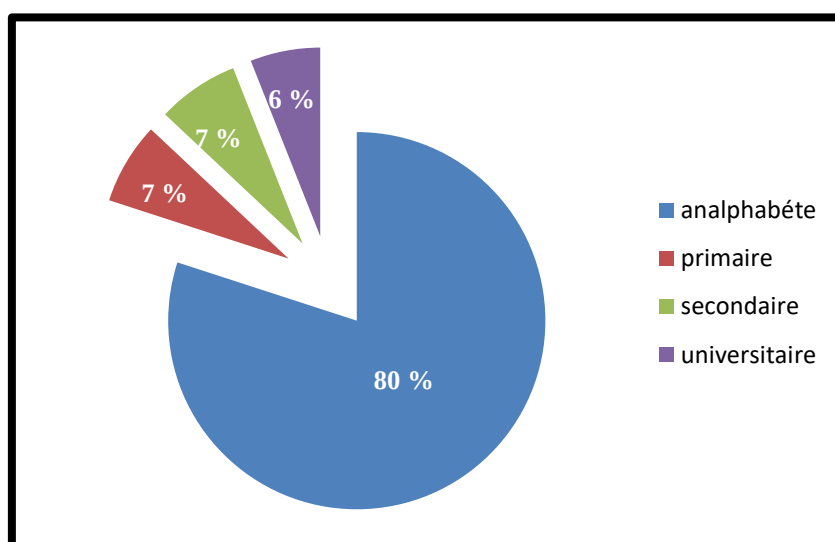


Fig. 9. Répartition des herboristes interrogés selon le niveau d'étude

✓ APPROCHE GENRE

Les résultats obtenus montrent que les hommes représentent 80% des herboristes interrogés, par rapport à 20% des femmes (figure 10).

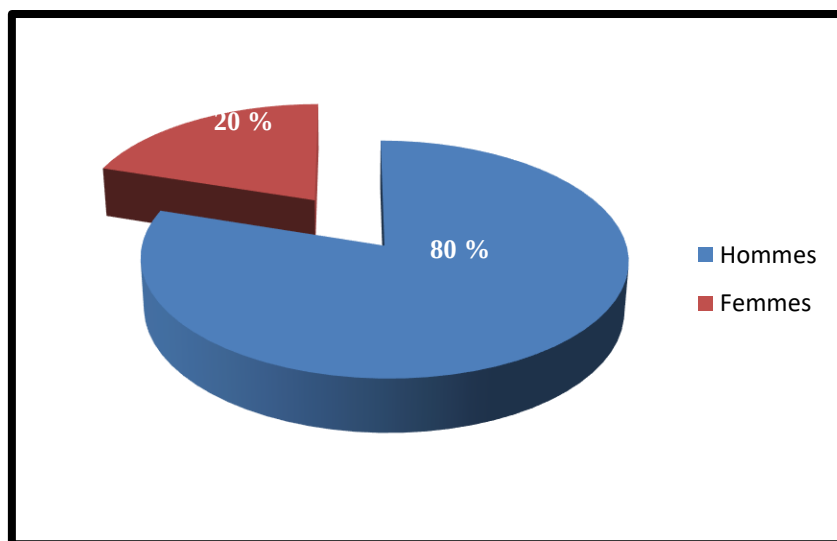


Fig. 10. Répartition des herboristes interrogés selon le sexe

✓ NIVEAU SOCIO-ECONOMIQUE

Les résultats obtenus ont permis d'évaluer les niveaux socio-économiques des herboristes interrogés (figure 11).

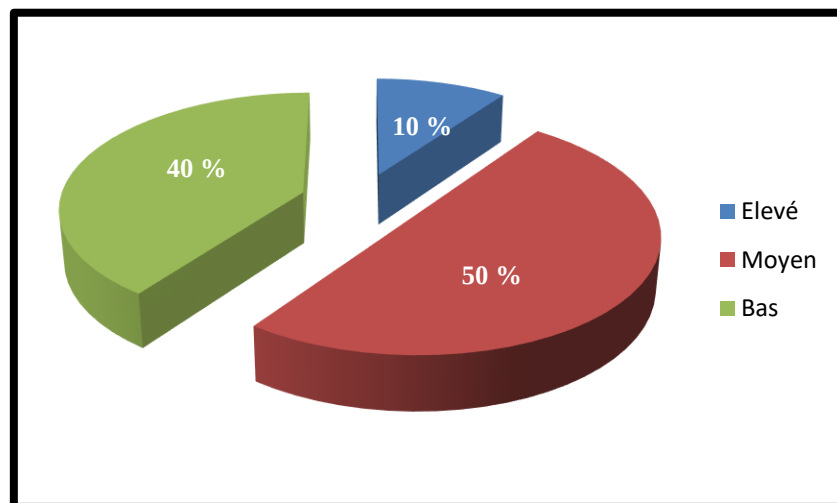


Fig. 11. Répartition des herboristes interrogés selon le niveau socio-économique

✓ SITUATION FAMILIALE

Concernant, la situation familiale des herboristes, les résultats obtenus ont montrés que 60% sont mariés, 30% sont célibataires et 10 % sont veufs (figure 12).

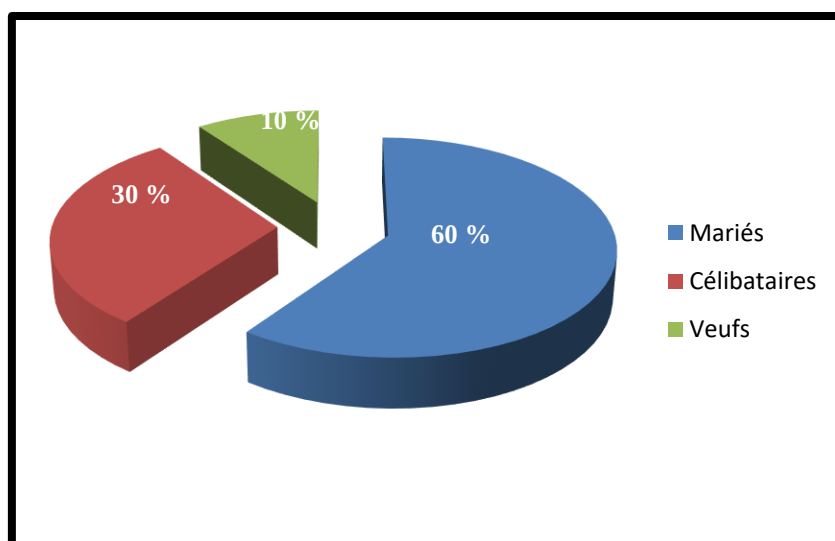


Fig. 12. Répartition des herboristes interrogés selon la situation familiale

3.3 LES PLANTES CHOISIES

Les résultats obtenus ont permis de choisir trois plantes aromatiques et médicinales qui sont: *Thymus vulgaris*, *Citrus limonum* et *Mentha spicata*, la figure 13 représente les pourcentages d'utilisation de ces plantes par les herboristes interrogés.

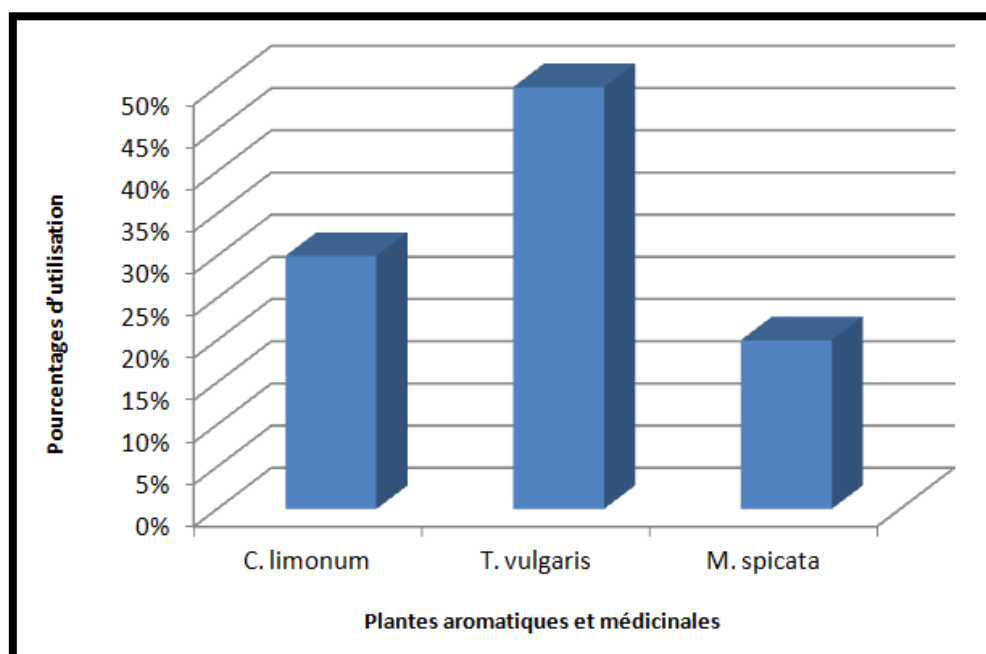


Fig. 13. Plantes aromatiques choisies lors de l'enquête

3.4 DONNEES SUR LES PLANTES CHOISIES

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Données sur les plantes aromatiques et médicinales choisies

Plantes médicinales	Parties cueillies	Périodes de la cueillette	Etats d'utilisation	Méthodes de séchage	Propriétés pharmacologiques	Types de préparation	Voies d'administration
<i>M. spicata</i>	Toute la plante	Toute l'année	Frais et sec	Séchage à l'ombre	✓ Insomnie ✓ Stomatite ✓ Digestive ✓ Diurétique ✓ Carminative ✓ Antispasmodique	✓ Extraction des HE ✓ Infusion ✓ Décoction	✓ Orale ✓ Dermique
<i>C. limonum</i>	Toute la plante	Toute l'année	Frais et sec	Séchage à l'ombre	✓ Tonique ✓ Soins de la peau	✓ Extraction des HE ✓ Jus	✓ Orale ✓ Dermique
<i>T. vulgaris</i>	Toute la plante	Avril-Juillet	Sec	Séchage à l'ombre	✓ Vermifuge ✓ Stomachique ✓ Carminatif ✓ Diurétique ✓ Antispasmodique ✓ Anthelminthique ✓ Cicatrisant ✓ Antitussif ✓ Antiseptique intestinal et pulmonaire ✓ Expectorant ✓ Fébrifuge ✓ Emménagogue ✓ Tonique ✓ Désodorisant	✓ Extraction des HE ✓ Infusion ✓ Décoction	✓ Orale ✓ Dermique

✓ LES EFFETS SECONDAIRES A L'UTILISATION DES PLANTES CHOISIES

Les résultats obtenus suite à l'interrogation des herboristes ont montré que l'utilisation du *T. vulgaris*, *M. spicata* et *C. limonum* est dépourvue de tout effet secondaire.

✓ LES DOSES THERAPEUTIQUES UTILISEES

Les résultats obtenus ont permis de déterminer les doses thérapeutiques utilisées par les herboristes pour le traitement de diverses maladies. La figure 14 représente les doses thérapeutiques utilisées.

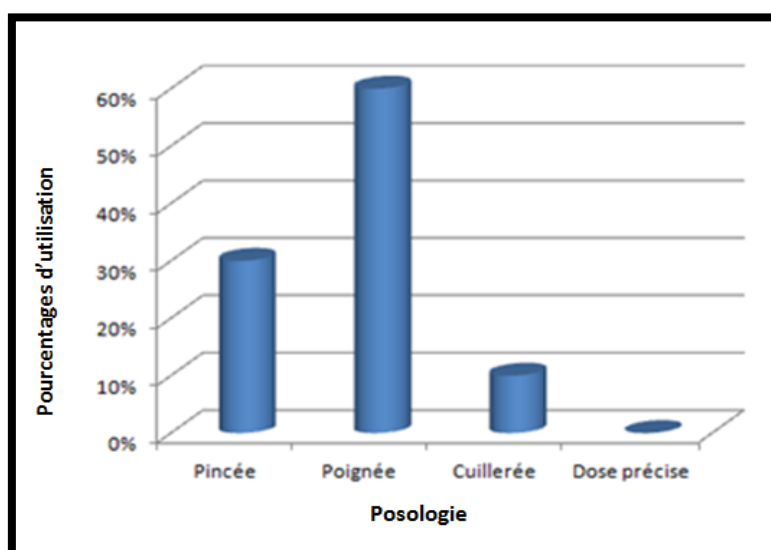


Fig. 14. Doses thérapeutiques utilisées

4 DISCUSSION

La première partie de notre enquête a permis d'interroger 300 personnes, dont 60,66% utilisent les plantes médicinales. Parmi ces enquêtés, 80% étaient de sexe féminin avec un âge compris entre 17 à 60 ans. Les personnes âgées fournissent des informations plus fiables et plus précises, du fait qu'elles détiennent une bonne partie du savoir ancestral. Parmi les usagers des plantes, 70% sont des analphabètes. Les mariées utilisent beaucoup plus la phytothérapie pour se soigner et ils représentent 70%.

Concernant, la deuxième partie de cette étude ethnobotanique, elle a permis d'interroger 100 herboristes, dont 80% étaient de sexe masculin avec un âge compris entre 25 à 65 ans. Parmi ces praticiens des plantes, 80% sont des analphabètes. Les mariées représentent 60% et concernant le niveau socio-économique, 10% seulement des herboristes ont un niveau élevé tandis que 50% ont un niveau moyen et 40% ont un niveau bas.

En ce qui concerne les plantes aromatiques choisies suite à cette enquête, on a visé trois PAM qui sont: *T. vulgaris*, *M. spicata* et *C. limonum*. Ces plantes appartiennent aux familles des Labiées et des Rutacées. Des différentes parties des PAM choisies sont utilisées en phytothérapie, allant de la plante entière, des feuilles, des racines, des fruits, etc. Les HE, les décoctions, les infusions et les jus représentent les types de préparations les plus utilisées. L'administration des préparations à base de ces plantes se fait par les voies orales et dermiques. En ce qui concerne les effets secondaires de ces préparations à base de plantes, les résultats obtenus ont montré que l'utilisation du *T. vulgaris*, *M. spicata* et *C. limonum* est dépourvue de tout effet secondaire. Et enfin, l'étude des posologies utilisées par les herboristes a montré l'absence de doses précises et les posologies sont sous forme de pincées, poignées et cuillerées.

5 CONCLUSION

La phytothérapie est très utilisée au Maroc, pour le traitement de diverses maladies. Parmi les plantes aromatiques marocaines, nous avons choisis trois plantes, qui sont: *T. vulgaris*, *M. spicata* et *C. limonum*. De point de vue ethnobotanique et pharmacologique, la partie aérienne constitue la partie la plus utilisée avec un pourcentage de 100%. Les régions étudiées présentent une biodiversité très élevée, ainsi, trois PAM utilisées dans la médecine traditionnelle ont été recensés. Il est important de préserver et mettre en valeur ce savoir empirique qui est un patrimoine naturel et culturel.

REFERENCES

- [1] J. EL Amri, K. Elbadaoui, T. Zair, H. Bouharb, S. Chakir ET T. Lmolk alaoui, "Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum* L et l'extrait de *Silène vulgaris* sur différentes souches testées" *Journal of Applied Biosciences*; 82: 7481–7492, 2014.
- [2] S. Chaouki, "Valorisation d'une plante médicinale à activité antidiabétique de la région de Tlemcen: *Anacyclus pyrethrum* L, Application de l'extrait aqueux à l'inhibition de corrosion d'un acier doux dans H_2SO_4 0.5M" Thèse de Doctorat ès sciences physiques, Université Abou Bekr Belkaid.Tlemcen, Faculté des Sciences. 214 p., 2012.
- [3] Agence Américaine Pour le Développement International (USAID), "Stratégie nationale de développement du secteur des plantes aromatiques et médicinales" *Agriculture et Agrobusiness Intégrés*, contrat No 608-M-00-05-00043-01. 72p., 2008.
- [4] S. Hseini et A. Kahouadji. "Étude ethnobotanique de la flore médicinale dans la région de Rabat (Maroc occidental) " *Lazaroa* 28: 79-92, 2007.
- [5] W.H. Lewis et M.P. Elvin-lewis, "Medicinal Plants as Sources of New Therapeutics, *Annals of the Missouri Botanical Garden*.82 (1): 16-24, 1995.
- [6] L. Svetaz, F. Zuljan, M. Derita, E. Petenatti, G. Tamayo, A. Cáceres, VC. Filho, A. Giménez, R. Pinzón, SA. Zacchino, M. Gupta, "Value of the ethnomedical information for the discovery of plants with antifungal properties. A survey among seven Latin American countries" *Journal of Ethnopharmacology* 127: 137–158, 2010.
- [7] A. Derridj, G. Ghemouri, R. Meddour, O. Meddour-sahar, "Approche ethnobotanique des plantes médicinales en Kabylie (Wilaya Tizi-Ouzou, Algérie) " *Proceeding of the International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants-SIPAM 2012. Acta-Horticulturae. Number 997: 4255-433, 2009.*

Hygroma kystique découvert à l'échographie du 1^{er} trimestre: A propos de 03 cas

[Cystic Hygroma discovered by the first trimester ultrasound: About 3 cases]

H. Souradi, F. Amrane, Z. Bennani, M. Hijji, M. Youssfi, and S. Bargach

Service de Gynécologie-Obstétrique, de Cancérologie et de Grossesses à Haut Risque, Maternité Souissi,
Université Mohamed V, 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: The systematization of ultrasound in the 1st trimester with a search for the nuchal translucency has made it possible to detect numerous pathologies, in particular cystic hygroma, the prevalence of which can reach 2%, and which is defined as having a retro and laterocervical poly cystic mass, These cystic formations are composed of multiple compartments of varying size and containing a liquid; and they are microscopically defined as new cavities formed in the connective tissue and lacking a classic cystic wall, that is to say, they are pseudo-cysts without an internal coating, hence the interest in differentiating them from cervical cystic lymphangioma which has a lymphatic endothelial type coating of variable volume, related to sequestration of lymphatic fluid in the nuchal connective tissue. And which is generally unilateral left anterolateral, and can also involve the shoulder.

And also differentiating them from the occipital meningocele by the demonstration of a defect of the bone closure at the level of the cervical spine.

Cystic hygroma is often associated with karyotype abnormalities of up to 80% made of monosomy X or trisomy 21 or others, as well as other morphological abnormalities; cardiac, diaphragmatic, skeletal or a set of syndrome. A good knowledge of the factors of poor prognosis makes it possible to inform prenatal counseling and set up correct management.

KEYWORDS: Cystic hygroma, 1st trimester Ultra sound, nuchal translucency, karyotype abnormalities, morphological abnormalities.

RESUME: La systématisation de l'échographie au 1er trimestre avec recherche de la clarté nucale a permis de déceler de nombreuses pathologies notamment l'hygroma kystique, dont la prévalence peut atteindre 2%, et qui est défini comme étant une masse poly kystique rétro et latérocervicale, Ces formations kystiques sont composées de multiples logettes de taille variée et contenant un liquide; et il s'agit microscopiquement de cavités néoformées dans le tissu conjonctif et dépourvues de paroi kystique classique, c'est-à-dire, ce sont des pseudo-kystes sans revêtement interne, d'où l'intérêt de les différencier du lymphangiome kystique cervical qui possède un revêtement de type endothélial lymphatique de volume variable, en rapport avec une séquestration de liquide lymphatique dans le tissu conjonctif nuchal, et qui est en général unilatéral antérolatéral gauche, intéressant aussi l'épaule.

Mais aussi du méningocèle occipital par la mise en évidence d'un défaut de la fermeture osseuse au niveau du rachis cervical. L'hygroma kystique est souvent associé à des anomalies du caryotype allant jusqu'à 80% fait de monosomie X ou trisomie 21 ou autres, ainsi qu'à d'autres anomalies morphologique, cardiaque diaphragmatique, squelettique ou un ensemble de syndrome. La bonne connaissance des facteurs de mauvais pronostic permet d'éclairer le conseil prenatal et mettre en place une prise en charge correcte.

MOTS-CLEFS: hygroma kystique, échographie du premier trimestre, clarté nucale, anomalies du caryotype, anomalies morphologique.

1 INTRODUCTION

L'étude échographique de la nuque fœtale à la fin du premier trimestre (entre 11 et 13 + 6 semaines d'aménorrhées [SA]) permet d'établir une relation directe entre les anomalies de nuque (hygroma kystique [HK] ou hyper clarté nucale [HCN]) et l'existence d'anomalies chromosomiques fœtales [1,2].

Depuis la systématisation de cette analyse échographique, le diagnostic anténatal d'HK est devenu plus fréquent avec une prévalence dans la population générale, lors du premier trimestre de la grossesse de 0,35 % (une grossesse sur 285) à 0,75 % (une grossesse sur 133) [3—5].

L'HK est associé à un très mauvais pronostic et présenterait un risque cinq fois plus important d'aneuploïdie, 12 fois plus de malformation cardiaque et six fois plus de décès périnatal que l'HCN [3—6].

Le but de notre travail est de décrire 3 cas d'HK ainsi que la corrélation avec l'existence d'anomalies du caryotype.

2 PATIENTES ET OBSERVATIONS

1ER CAS

Il s'agit d'une patiente âgée de 34 ans, sans antécédents particuliers, G1P0, enceinte à 12 SA (selon la date de dernières règles). Elle consulte dans le cadre d'un suivi de grossesse, l'échographie obstétricale objective des images en faveur d'un HK.

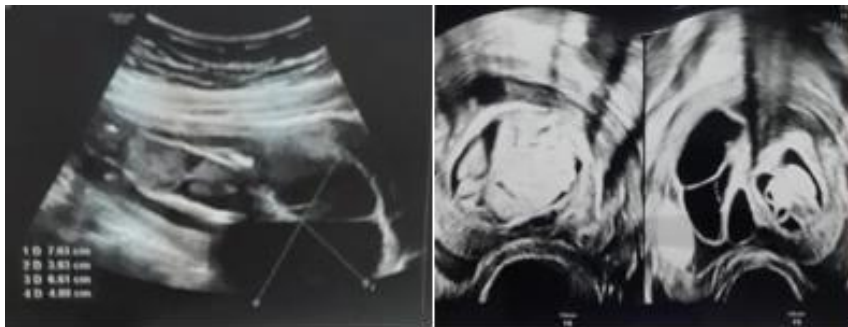


Fig. 1. Coupe sagittale et axiale du fœtus objectivant les logettes siégeant à la face postérieure de la nuque

La patiente a expulsé spontanément à 19 SA, le caryotype a objectivé la présence d'une trisomie 21 chez le fœtus.

2ÈME CAS

Il s'agit d'une patiente âgée de 28 ans, sans antécédents particuliers, G3P2 (2 enfants vivants avec un bon développement psychomoteur), enceinte à 16 SA selon une échographie précoce. La patiente est référée dans notre formation pour suivi de grossesse devant des images objectivant une anomalie de la nuque.

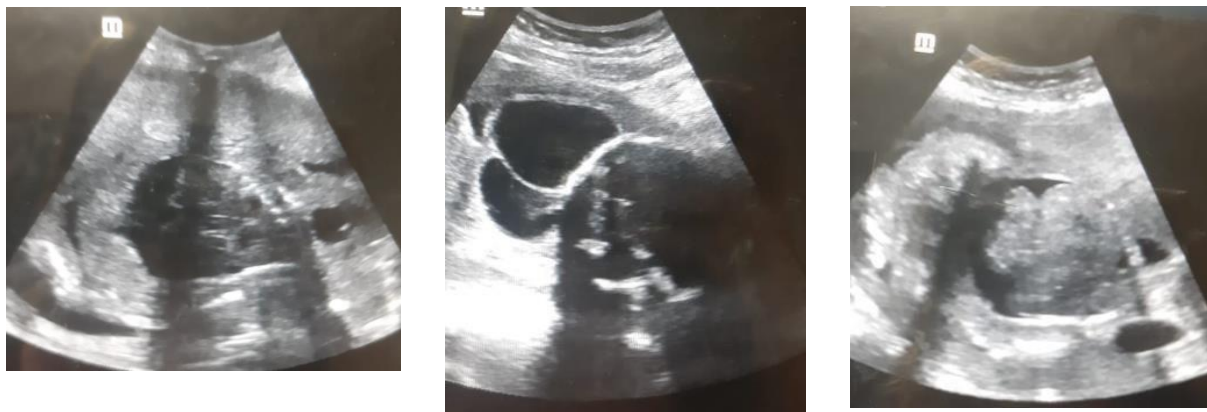


Fig. 2. Coupes échographiques objectivant la présence de logettes caractéristiques de l'HK avec présence d'ascite fœtale

La patiente a expulsé spontanément à 20 SA.



Fig. 3. Image du fœtus expulsé à 20 SA

Le caryotype a objectivé la présence d'un Syndrome de Turner.

3ÈME CAS

Il s'agit d'une patiente âgée de 32 ans, sans antécédents particuliers, G2P1, grossesse actuelle estimée à 13 SA selon la longueur crano caudale, l'échographie a objectivé des anomalies en rapport avec un HK.



Fig. 4. Grossesse estimée à 13 SA

La patiente a ensuite expulsé le fœtus à domicile à 16 SA. Le caryotype est revenu normal sans anomalie.

3 DISCUSSION

3.1 DESCRIPTION ANATOMIQUE

L'HK est une masse polykystique rétro et latéro-cervicale, de volume variable allant d'un simple épaissement de la zone postérieure du cou, à une ou deux volumineuses masses polykystiques rétro-cervicales pouvant s'étendre en direction du scalp et aussi, en direction du dos et les parties latérales du tronc fœtal. Les logettes composant l'HK cervical sont multiples (au moins double), séparées par une ou des cloisons minces, et en particulier une cloison postérieure médiane et bifide à son extrémité distale; cette cloison n'est qu'un ligament nuchal cervical [7]. Ces formations kystiques sont composées de multiples logettes de taille variée et contenant un liquide; il s'agit microscopiquement de cavités néoformées dans le tissu conjonctif et dépourvues de paroi kystique classique, c'est-à-dire, ce sont des pseudo-kystes sans revêtement interne, d'où l'intérêt de les différencier du lymphangiome kystique cervical qui possède un revêtement de type endothélial lymphatique; en plus, le lymphangiome cervical est en général unilatéral antérolatéral gauche, intéressant aussi l'épaule. L'hygroma cervical doit être distingué aussi d'un méningo-cèle occipital par la mise en évidence d'un défaut de la fermeture osseuse au niveau du rachis cervical et du contour crânien notamment occipital [7].

3.2 PATHOGENESE

La formation de l'HK cervical est en rapport avec une séquestration de liquide lymphatique dans le tissu conjonctif nuel pouvant être expliquée par:

- Un défaut de connexion du système lymphatique cervical primordial avec le système veineux supérieur (absence de connexion des sacs jugulaires lymphatiques avec les veines jugulaires internes et sub-clavières);
- Une dysplasie lymphatique due à un défaut du développement du système lymphatique périphérique (hypoplasie des vaisseaux lymphatiques dermiques) [8].

3.3 INCIDENCE

L'hygroma cervical est constaté chez 0.3 à 2 % des fœtus, mais cette incidence varie en fonction de la population étudiée et l'âge gestationnel. Les anomalies chromosomiques sont présentes dans 50 à 80 % des cas, avec une incidence élevée de la monosomie X (syndrome de Turner) qui représente les 65 % de ces aneuploïdies. L'incidence d'anomalie chromosomique associée à la présence d'hygroma cervical au premier trimestre de la grossesse est de l'ordre de 50 %; Cet hygroma cervical régresse spontanément dans 10 % des cas en la présence d'une aneuploïdie et dans 17 % des cas chez les fœtus euploïdies [8]. L'hygroma kystique détecté au 1er trimestre est de mauvais pronostic par rapport à celui détecté tardivement dans la vie fœtale [13].

3.4 PATHOLOGIES ASSOCIEES A L'HK

Les anomalies pouvant être associées à la présence de l'hygroma cervical sont:

- Les aneuploïdies trouvées dans 50 à 80 % des cas: Syndrome de Turner (2e observation) ou monosomie X.

Le syndrome touche 1 à 2 % de toutes les grossesses et 1/2000 à 1/3000 naissances vivantes. Pour certains auteurs son incidence est de l'ordre de 1/5000 naissances; aussi 2,5 à 5,5/10 000 nouveau-nés vivants du sexe féminin [4- 10].

La monosomie X est mise en évidence chez 65 % des fœtus atteints par un hygroma cervical.

Certaines aberrations des chromosomes autosomes peuvent se manifester par la constitution d'un hygroma cervical fœtal: la trisomie 21 (1ere observation) est la deuxième aneuploïdie après la monosomie X par ordre de fréquence en présence d'un hygroma cervical; la trisomie 13; la trisomie 18; la trisomie 22; la trisomie 8; le caryotype (47, XXY); puis certaines anomalies structurales chromosomiques comme la trisomie partielle 3q ter; 5q- (syndrome de cri du chat) [9].

La présence d'un hygroma cervical au premier trimestre de la grossesse est plus évocatrice de la trisomie 21 que la monosomie X; à l'inverse, la présence d'un hygroma cervical au deuxième trimestre de la grossesse est plus évocatrice de la monosomie X que la trisomie 21, comme c'est le cas chez nos patientes.

En général, l'hygroma cervical qui apparaît au premier trimestre est plus fréquemment associé à des aneuploïdies autosomiques (trisomie 21, 18, et 13); tandis que l'hygroma cervical qui se constitue au deuxième trimestre et plus souvent associé à la monosomie XO (syndrome de Turner) [10].

L'hygroma cervical est constaté aussi chez des fœtus euploïdes (à caryotype normal) dans 15 % des cas, mais ces fœtus sont souvent atteints en même temps, d'une des pathologies suivantes:

Malformations cardiaques: 90 % des cas d'hygroma cervical s'accompagnent d'une malformation cardiaque, bien sûr la majorité de ces cas sont associés à une aneuploïdie, mais dans certaines situations, le fœtus est euploïde. Ces anomalies sont principalement des coarctations de l'aorte et des anomalies conotruncales [11].

Hernie diaphragmatique.

Anomalie squelettique; achondrogénésies.

Syndrome de Noonan: Il s'agit de l'ancien "syndrome de Turner mâle"; "Phénotype turnérien avec caryotype normal", Ce syndrome est caractérisé par un phénotype turnérien et caryotype normal de format (46, XX) normal, ou (46, XY) normal, donc il peut être observé chez les filles et chez les garçons avec un sexe radio M: F = 1: 1. Il s'agit d'un syndrome à transmission autosomique dominant à pénétrance variable; le gène responsable de la survenue du syndrome de Noonan a été localisé sur le chromosome 12 (région 12q24.2-q24.31). La fonction gonadique est variable, de l'agénésie gonadique jusqu'au développement ovarien et la fertilité normaux [9]. Au cours de la grossesse, parmi les anomalies cardiaques fréquemment rencontrées chez les fœtus atteints par le syndrome de Noonan, on note surtout la fréquence élevée de la présence de la

sténose de l'artère pulmonaire ainsi que d'autres anomalies, mais à une fréquence plus faible et variable, associée souvent à l'hygroma cervical bilatéral dans une forme mineure. Dans ce syndrome la plus part des fœtus sont viables.

Syndrome des ptérygium multiples létaux: Pterygia, fixations des articulations; anomalie de postures; malposition des doigts et syndactylies, micrognathisme, fente palatine, puis dans les formes létales de syndrome, on constate la présence d'un hygroma kystique cervical et anasarque généralisé, une hernie diaphragmatique et une hypoplasie pulmonaire due à l'immobilité du thorax [10].

Les autres syndromes comme dans lesquels on peut observer la présence d'un hygroma cervical: Syndrome de Fryns; Syndrome d'Apert; Syndrome de Cornelia de Lange (= Syndrome de Brachmann-de Lange); Syndrome de Fraser; Syndrome de Pena-Shokeir (pseudo trisomie 18); Syndrome de Smith-Lemli-Opitz; EEC syndrome (Ectodactyly-ectodermal dysplasia-clefting); Syndrome de Joubert; Syndrome de Kniest.; Syndrome de Perlman; le syndrome cérébrocostomandibulaire; Syndrome de Pallister-Killian;

Certains types de séquences d'akinésie fœtale (Syndrome de l'immobilisation fœtale.); Syndrome de Roberts (aglossie-adactylie); Syndrome de l'alcoolisme fœtal [11].

Dans ces pathologies non chromosomiques, l'hygroma régresse spontanément vers 17 - 18 SA dans 17 % des cas [4- 9].

4 CONCLUSION

Devant une découverte d'HK à l'échographie du premier trimestre, les facteurs de mauvais pronostic permettant d'éclairer le conseil prénatal sont:

- Une anomalie du caryotype;
- Une cn supérieure de 6 à 6,5 mm [12];
- La présence d'une anasarque;
- La présence d'une ou plusieurs anomalies échographiques associées;
- Un caryotype normal avec persistance ou majoration de l'HK et/ou de l'anasarque lors de la surveillance échographique.

L'algorithme de prise en charge proposé par Malone et al. [3] en cas de découverte d'un HK à l'échographie du premier trimestre est meilleur à suivre:

- Première étape: réaliser un caryotype fœtal. Leur annoncer le risque de 50 % d'aneuploïdie;
- Deuxième étape: annonce des résultats de la PVC ou de l'amniocentèse. En cas de caryotype normal, leur annoncer le risque persistant de 40 % d'évolution défavorable en raison de découverte d'anomalies échographiques majeures, de majoration de l'anasarque ou de MFIU. Orientation des parents vers une consultation génétique. Surveillance échographique régulière et réalisation d'une échographie cardiaque vers 16—20 SA;
- Troisième étape: en l'absence d'anomalie de caryotype et d'anomalie échographique, être rassurant et leur annoncer la forte probabilité de naissance d'un enfant vivant sans malformation présentant un développement normal. Discuter la nécessité d'une surveillance pédiatrique rapprochée jusqu'à un âge scolaire.

REFERENCES

- [1] Souka AP, Krampfl E, Bakalis S, Heath V, Nicolaides KH. Outcome of pregnancy in chromosomally normal fetuses with increased nuchal translucency in the first trimester. *Ultrasound ObstetGynecol* 2001; 18: 9—17.
- [2] Kagan KO, Avgidou K, Molina FS, Gajewska K, Nicolaides KH. Relation between increased fetal nuchal translucency thickness and chromosomal defects. *ObstetGynecol* 2006; 107: 6—10.
- [3] Malone FD, Ball RH, Nyberg DA, Comstock CH, Saade GR, Berkowitz RL, et al. First trimester septated cystic hygroma: prevalence, natural history, and pediatric outcome. *ObstetGynecol* 2005; 106: 288—94.
- [4] Ducarme G, Graesslin O, Alanio E, Bige V, Gaillard D, Gabriel R. Hyperclarté nucale et hygroma cervical au premier trimestre de la grossesse: diagnostic prénatal et devenir néonatal. *Gyne-col Obstet Fertil* 2005; 33: 750—4.
- [5] Kharrat R, Yamamoto M, Roume J, Couderc S, Vialard F, Hillion Y, et al. Karyotype and outcome of fetuses diagnosed with cystic hygroma in the first trimester in relation to nuchal translucency thickness. *PrenatDiagn* 2006; 26: 369—72.
- [6] Paolino-Giacobino A, Extermann DP, Dahoun SY. Pregnancy outcome of 30 fetuses with cystic hygroma diagnosed during the first 15 weeks of gestation. *Genet Couns* 2003; 14: 413—8.
- [7] Bernard Guérin du Masgenêt, Yann Robert, Philippe Bourgeot, Philippe Coquel, Yves Ardaens. Masson 2009.
- [8] Woodward, Kennedy, Sohaey. EXPERT DDX Obstetrics. AMIRSYS 2009.

- [9] Gilles Body, Franck Perrotin, Agnès Guichet, Christian Paillet, Philippe Descamps. " La pratique du diagnostic prénatal ". Masson 2001.
- [10] Paula J; Woodward, Anne Kennedy. Royasohaey, Janice L.-P Byrne, Karen Y. Oh, Michael D. Puchalski" Diagnostic Imaging Obstetric ". Amirsys 2005.
- [11] David A. Nyberg, John P McGahan, Dolores H. Pretorius, GianluigiPilu" Diagnostic Imaging of fetal anomalies " Lippincott Williams Wilkins 2003.
- [12] Tanriverdi HA, Hendrik HJ, Ertan AK, Axt R, Schmidt W. Hygroma colli cysticum: prenatal diagnosis and prognosis. Am J Parinatol 2001; 18: 415—20.
- [13] Shimura M, Ishikawa H, Nagase H, Mochizuki A, Sekiguchi F, Koshimizu N, Itai T, Odagami M. Predicting the intrauterine fetal death of fetuses with cystic hygroma in early pregnancy. CongenitAnom (Kyoto), 2018.

