

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 77 N. 2 March 2025



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2336-0046) is an open access, specialized, peer-reviewed, and interdisciplinary journal that focuses on research, development and application within the fields of innovation, engineering, science and technology. Published four times per year in English, French, Spanish and Arabic, it tries to give its contribution for enhancement of research studies.

All research articles, review articles, short communications and technical notes are sent for blind peer review, with a very fast and without delay review procedure (within approximately two weeks of submission) thanks to the joint efforts of Editorial Board and Advisory Board. The acceptance rate of the journal is 75%.

Contributions must be original, not previously or simultaneously published elsewhere. 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

K. Messaoudi, Hochschule für Bankwirtschaft, Germany
Sundar Balasubramanian, Medical University of South Carolina, USA
Ujwal Patil, University of New Orleans, USA
Avdhoot Walunj, National Institute of Technology Karnataka, India
Rehan Jamil, Yunnan Normal University, China
Sankaranarayanan Seetharaman, National University of Singapore, Singapore
Fairouz Benahmed, University of Connecticut Health Center, USA
Achmad Choerudin, ST.,SE.,MM., Academy Technology of Adhi Unggul Bhirawa, Indonesia
Mohammad Ali Shariati, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Iran
Md Ramim Tanver Rahman, Jiangnan University, China
Rasha Khalil Al-Saad, Veterinary Medicine College, Iraq
Neil L. Egloso, Palompon Institute of Technology, Philippines
Sanjay Sharma, Roorkee Engineering & Management Technology Institute, India
Ahmed Nabile Emam, National Research Center (NRC), Egypt
Md. Arif Hossain Jewel, Rural Development Academy, Bangladesh
N. Thangadurai, Jayalakshmi Institute of Technology, India
Urmila Shrawankar, G H Rasoni College of Engineering, India
Goutam Banerjee, Visva-Bharati University, India
Santosh Kumar Mishra, S. N. D. T. Women's University, India
Anupam Kumar, Ashoka Institute of Technology & Management, India

Table of Contents

Analyse qualitative des calcaires de Lukunga (CII) dans le Cataract en vue de la mise en évidence d'une potentielle valorisation industrielle	163-176
<i><u>Phily Kangunza Mufuankol, Elohim Mav, Junior Savu Lutete, Mathieu Matondo Mbungu, Ruben Loola Loketo, Jonathan MUSITU, Miche Tshunza, Jonathan Manduelo, Jeancy Kangunza, and Eric Kisonga Manunu</u></i>	
Étude sur l'intégration de l'internet des objets pour optimiser la gestion des déchets dans une ville de la RDC	177-194
<i><u>MAZUNZE Bertin, KASONGO NYANGE Franck, TUBONGYE SHABANI Arlene, TSHIKA BILOMBA Bety, NGOMBE LENGE Hydro, and LUKUSA MUVUALA Vicky</u></i>	
Facteurs et incidences des tensions foncières dans la problématique de l'urbanisation rapide à adzope (sud de la Côte d'Ivoire)	195-208
<i><u>Koulotioma Issa Soro, Konan Norbert Koffi, Akissi Lurette Edith Yao, and Narcisse Bonaventure Assi-Kaudjhis</u></i>	
Caractérisation et normes techniques de réalisation des demi-lunes multifonctionnelles et classiques selon les types de sol dans l'Ouest du Niger: Cas de Sokorbé (Loga)	209-224
<i><u>Idrissa Seidou Ousmane, Tidjani Adamou Didier, Amadou Cheffou Barré, and Ambouta Karimou Jean-Marie</u></i>	
Evaluation of the effect of types of fertilization, sowing methods and seed rates on the yield and plant density of fonio (<i>Digitaria exilis</i> Stapf) in Mali	225-235
<i><u>Moussa Daouda Sanogo, Fagaye Sissoko, Youssouf Sogoba, Salia Coulibaly, and Issouf Kone</u></i>	
Effets de la dynamique urbaine d'une ville subsaharienne: Cas des limites de Mbujimayi en République Démocratique du Congo	236-247
<i><u>Pierre Mpayi Ndolo Loy, Donatien Bukome Itongwa, and John Tshibangu Wa Ilunga</u></i>	
Conception bioclimatique de bâtiments en climat tropical sec par une approche innovante: Simulation et mesures expérimentales in situ	248-262
<i><u>Kananokba Ouedraogo and David Y.K. TOGUYENI</u></i>	
Perception des mères sur la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi	263-273
<i><u>Suga Savo Amos, Logo Ndalo Pascal, Ucircan Bule Chrisante Ibrahim, Adania Alesi, Lokanzo Lonu, and Kyaligonza Kisoke Daniel</u></i>	
Perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia	274-285
<i><u>Suga Savo Amos, Amuda Baba Dieu-Merci, Mukandu Basua Babintu Leyka, Jacques Lofandjola, and Anite Sivuni Nathalie</u></i>	
Estimation de la biomasse et du potentiel de séquestration du carbone par le massif forestier de Mambala à Kikwit en République Démocratique du Congo	286-299
<i><u>Jean Louis Ipumi Ngangwan, Gaspaulin Kingendzi Mumbenga Daa, Solange Biongo Nyami, Philippe Kilundu, Berenice Kwazitela Mwanza, and Saturnin Kudiakusika Mapekipeki</u></i>	

Analyse qualitative des calcaires de Lukunga (CII) dans le Cataract en vue de la mise en évidence d'une potentielle valorisation industrielle

[Qualitative analysis of the limestones of Lukunga (CII) in the Cataract with a view to identifying potential industrial valorization]

Phily Kangunza Mufuankol¹, Elohim Mav¹, Junior Savu Lutete¹, Mathieu Matondo Mbungu¹, Ruben Loola Loketo¹, Jonathan Musitu¹, Miche Tshunza¹, Jonathan Manduelo¹, Jeancy Kangunza¹, and Eric Kisonga Manunu¹⁻²

¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Mention Géosciences, Géologie, Post office Box 190, Kinshasa XI, RD Congo

²Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2025 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 proposed study aims to qualitatively analyze the limestones of Lukunga, within the Lukala subgroup (Neoproterozoic) in the Mbanza-Ngungu region, to determine their potential for industrial valorization. The petrographic and geochemical characteristics, which determine the quality and are crucial factors for identifying industrial valorization potential, have shown that these limestones from Lukunga, in accordance with existing international standards, possess features suitable for valorization in various industrial sectors, such as the manufacturing of construction materials and lime production. However, they remain unsuitable for cement manufacturing and the chemical industry due to their relatively high silica content.

KEYWORDS: Standards, Cement, Lime, Industry, Economic Interest.

RESUME: L'étude proposée est d'analyser qualitativement les calcaires de Lukunga, dans le sous-groupe de Lukala (Néoprotérozoïque) de la région de Mbanza-Ngungu, afin de déterminer leur potentiel de valorisation industrielle. Les caractéristiques pétrographiques et géochimiques déterminant la qualité qui est un facteur important pour la mise en évidence du potentiel de valorisation industrielle, ont démontrées que ces calcaires de Lukunga, conformément aux normes internationales existantes présentent des caractéristiques susceptibles d'être valorisés dans plusieurs secteurs industriels en occurrence de la fabrication des matériaux de construction, la fabrication de la chaux, cependant ces derniers restent inappropriés pour la fabrication du ciment et pour l'industrie chimique en raison de leur teneur relativement élevée en silice.

MOTS-CLEFS: Normes, Ciment, Chaux, Industrie, intérêts économiques.

1 INTRODUCTION

Durant la période coloniale, de nombreuses campagnes de prospection géologique et minière ont été activement menées dans la province du Kongo-Central par des géologues de renom tels que J. Cornet, J. Lepersonne, et d'autres. Ces explorations ont permis de mettre en évidence plusieurs formations géologiques, des indices minéraux, ainsi que divers gisements et réserves.

A cet effet, les ressources minérales connues sous forme d'indices attendent encore des études approfondies en vue de leur exploitation économique. Plutôt, les ressources minérales dites « documentées et connues », ont déjà fait l'objet d'études technico-économiques approfondies et n'attendent que des capitaux frais pour leur mise en exploitation [1].

Par contre, les formations carbonatées du Sous-groupe de Lukala appartenant au Néoprotérozoïque de la Province du Kongo-Central, affleurant entre Mbanza-Ngungu et Songololo en occurrence de la formation de Lukunga qui offre de vastes possibilités d'utilisation dans divers secteurs industriels n'a pas fait l'objet d'assez d'études détaillées avec des techniques modernes lors de la dernière décennie.

De ce fait le présent travail qui porte sur l'analyse qualitative des calcaires de Lukunga de faisceau de Lukala (Shisto-Calcaire) dans la région de Mbanza-Ngungu, contribuera sur la compréhension de leur pétrographie, leurs caractéristiques géochimiques ainsi que leurs intérêts économiques dans les industries et dans la vie sociale.

La région de Mbanza-Ngungu se situe dans la province du Kongo central, Territoire de Mbanza-Ngungu, ayant pour limites géographiques 5°42'00" de latitude Sud et 15°05'30" et 15°08'00" de longitude Est. (Fig. 1)

Les calcaires étudiés dans le cadre de ce travail, appartiennent au sous-groupe de Lukala dans la formation C4 (Lukunga) de l'unité CII du groupe Cataractes (Ouest-Congolien). (Fig. 1)

Ces carbonates sont du Néoprotérozoïque et appartiennent à la chaîne West-Congo. Le Néoprotérozoïque est l'une des ères les plus importantes de l'histoire de la Terre, car elle a été caractérisée par le développement des premiers supercontinents stables à savoir Rodinia (1,1 à 0,9Ga) ensuite celui de Gondwana issu de la dislocation de Rodinia (550 – 500Ma); avec la formation de larges ceintures orogéniques et des changements climatiques forts importants (glaciations à large échelle); développement des microorganismes facilité par une atmosphère oxydante et apparition des eucaryotes à la fin du Néoprotérozoïque (ALAVAREZ et MAURIN, 1990; MAURIN, 1993; ALVAREZ, 1995; ZHAO et al., 2006; POIDEVIN, 2004; DELPOMDOR, 2013).

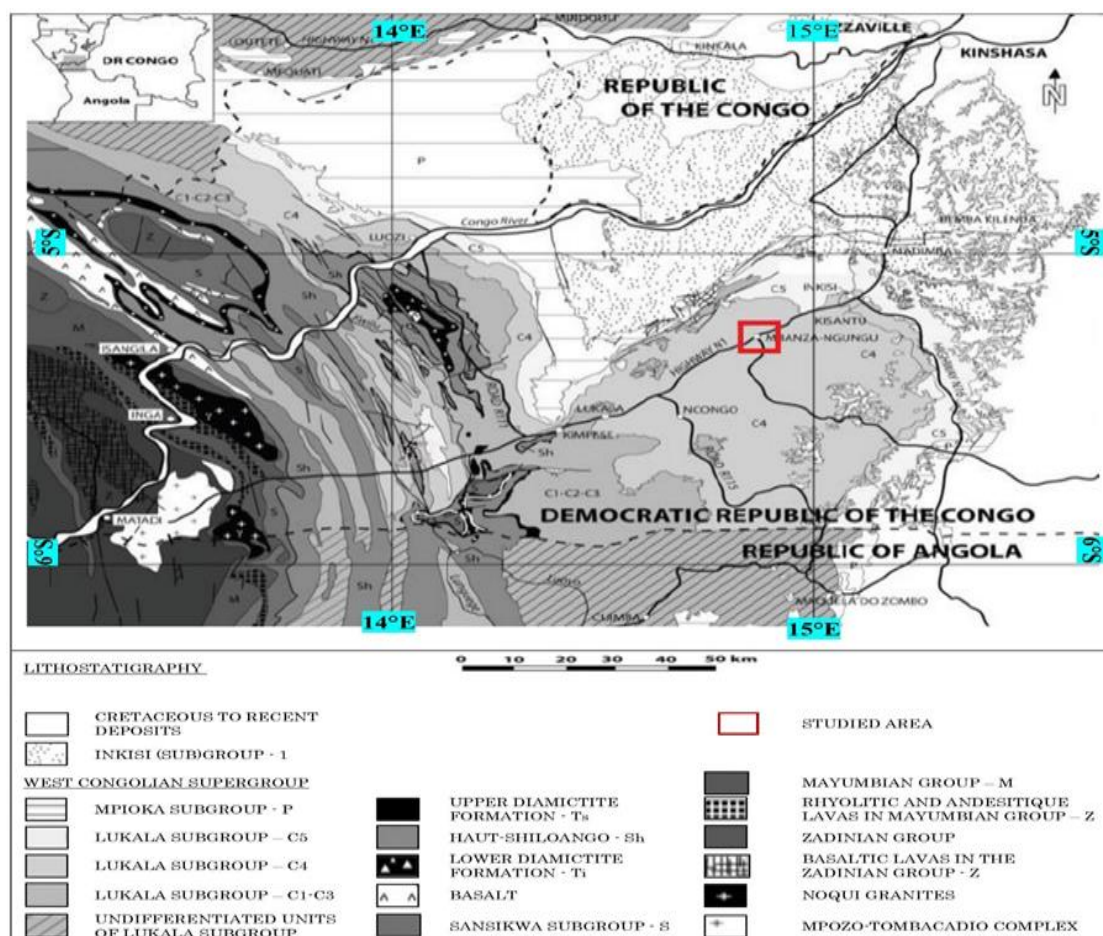


Fig. 1. Distribution géographique du groupe des Cataractes

La notion d'un ensemble ayant été contestée, notamment par le retrait de l'Inkisi du Groupe des Cataractes, les derniers travaux de mise à jour de la géologie du Bas Congo par le groupe de travail du projet "BC" a proposé une nouvelle stratigraphie en remplaçant le terme « Schisto-Calcaire » par un nom plus approprié lié à l'échelle locale. C'est ainsi que le nom de la cité de Lukala, lieu de la cimenterie, au cœur du Sous-groupe a été pris pour désigner ce Sous-groupe (BAUDET et al. 2013).

Le Sous-groupe de Lukala, ancien Schisto-Calcaire (C) a été divisé par DELHAYE et SLUYS (1923), en 4 unités, soit CI à CIV, puis en cinq formations, soit C1 à C5, par LEPERSONNE et al. (1973). (Fig. 2) Les carbonates de la partie basale du Schisto-Calcaire sont de couleur rose, constitués de dolomies avec fines laminations et apports significatifs des clastiques particulièrement dans les lamines de base où s'observe une rythmicité des sédiments, des déformations à petite échelle des sédiments mous et une stratification entrecroisée des carbonates rose et gris tandis que la partie supérieure est constituée d'interstratifications de grès argileux, calcaires oolithiques et argileux, dolomie ainsi que calcaire dolomitique.

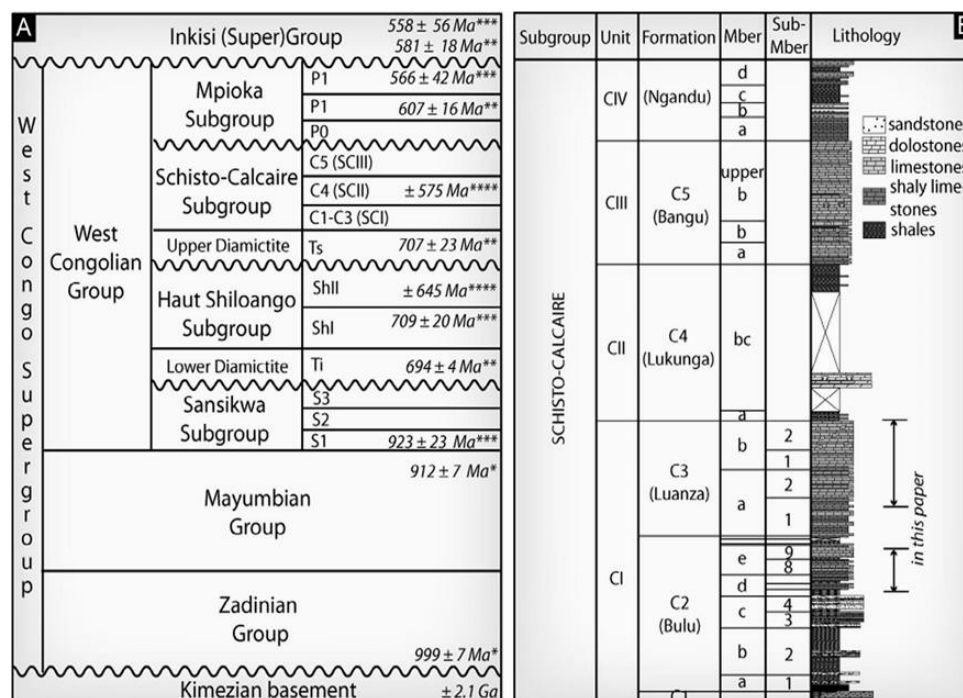


Fig. 2. Lithostratigraphie du Kongo Central (DELPOMDOR et al., 2015)

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Au cours de cette étude les matériels utilisés sont: le marteau de géologue, la boussole, le GPS (Gamin Map 64S), le carnet de terrain, des sacs d'emballage pour échantillons et feutre pour la numérotation des échantillons, l'acide chlorhydrique (HCl) dilué à 10%, les stylos et crayons, un appareil photographique, le décimètre, le microscope pétrographique, spectromètre à fluorescence de marque "SPECTRO XEPOS", les différents logiciels pour différentes tâches en occurrence de ArcGis 10.8, starter, Excel etc.

Afin d'atteindre l'objectif, nous avons procédé premièrement à la collecte et l'analyse de la documentation portant sur la bibliographie des anciens auteurs sur les roches carbonatées de l'Ouest-Congolien en général et celles de la formation de la Lukunga en particulier ainsi que l'analyse des données cartographiques.

Ensuite, on a effectué un levé géologique détaillé sur le terrain permettant de décrire et échantillonner les roches qui affleurent dans la région. Sur les affleurements, nous avons pris des mesures et prélevé les échantillons banc par banc. A l'issu des travaux de levé géologique (Fig. 3), il résulte que notre secteur d'étude comprendrait les principaux lithofaciès ci-après:

Lithofaciès de calcaire gris sombre à lamination constitué des grains fins et d'aspect compacte;

lithofaciès de calcaire rosâtre, constitué des grains fins et présentant un litage planaire qui se traduit par l'alternance des lits de couleurs gris clair, blanchâtre;

lithofaciès de calcaire sombre, constitué des grains fins et présentant un litage frustre et lenticulaire;

Lithofaciès de calcaire massif gris clair, constitué des grains très fins de couleur gris clair;

Lithofaciès de shales finement lités de couleur rouge qui intercalent les calcaires massifs;

Lithofaciès de calcaire gris sombre, constitué de grains très fins présentant un litage frustre;

Les images ci-dessous illustrent quelques affleurements dans la zone d'étude.

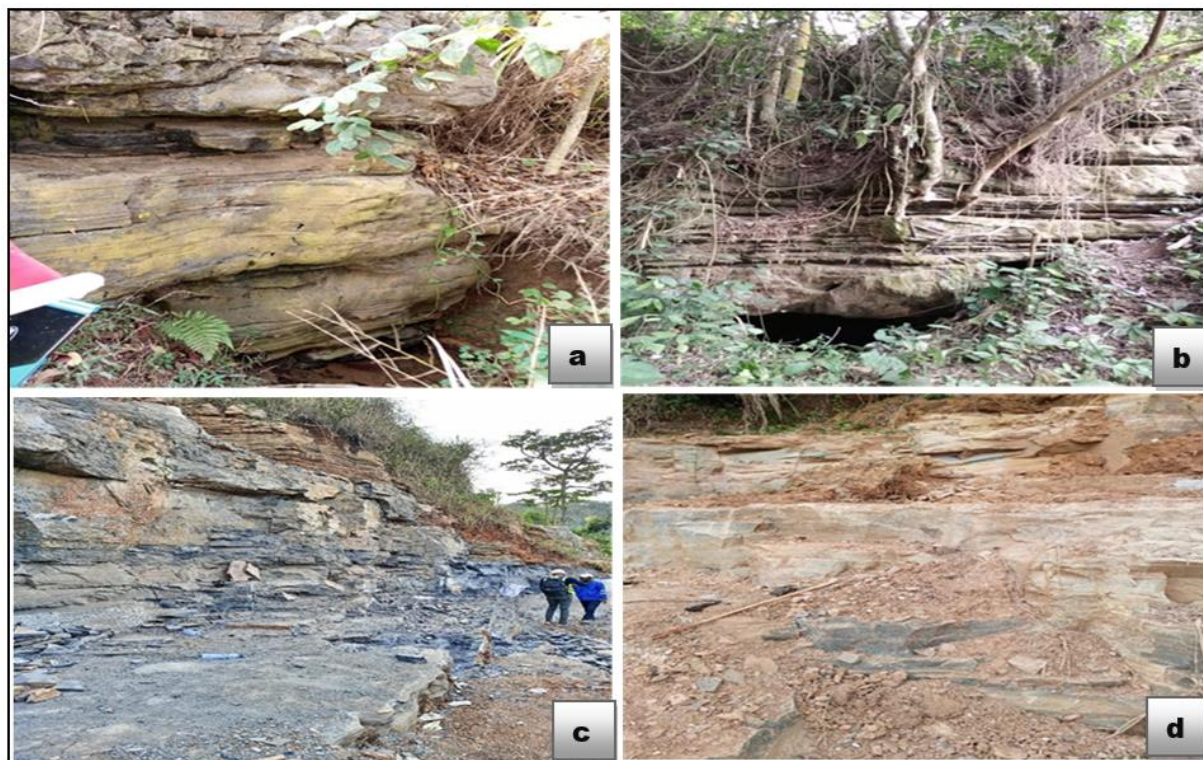


Fig. 3. a. Affleurement de calcaire gris sombre b. Affleurement de calcaire lité c. Affleurement de calcaire sombre d. Affleurement de calcaire gris clair

Le levé géologique dans cette zone d'étude a permis la description de 29 stations d'observations et le prélèvement des échantillons de roches dans certaines stations dont 15 ont fait l'objet des lames minces pour une étude microscopique. Les lames minces ont été analysées à l'aide d'un microscope polarisant où les différents microfaciès ont été analysés et classifiés suivant le modèle de FOLK (1959) et celui de DUNHAM (1962). Dix échantillons ont été sélectionnés à partir des faciès homogènes observés au microscope pour les analyses géochimiques au LCA du CRENK pour les oxydes majeurs.

Enfin nous avons procédé à l'interprétation afin de trouver des significations géologiques cohérentes concernant l'ensemble des données éparses obtenues sur le terrain ainsi qu'à celle récoltées des analyses aux laboratoires en vue de définir le potentiel industriel de ces calcaires.

3 RESULTATS

3.1 ANALYSE PETROGRAPHIQUE

Au total 15 lames minces ont été confectionnées sur les roches, dont quelques-unes sont reprises ci-dessous:

Dans les descriptions microscopiques ci-dessous, les Figures A correspondent à la Lumière Polarisée Analysée (LPA) et les Figures B correspondent à la Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA).

❖ Echantillon MB02

• Macroscopie

Roche rosâtre constituée des grains très fins et présente un litage frustre et planaire qui se traduit par une alternance des gris clair et des lits rosâtres; l'épaisseur des lits est inférieure à 1mm. Elle réagit avec le HCL dilué à 10%. (Fig. 4)

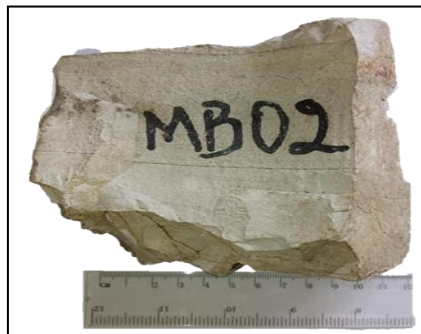


Fig. 4. Photo de l'échantillon MB02

• Microscopie

Au microscope, la roche MB02 (Fig. 5) présente une matrice micritique englobant des cristaux allongés de sparite. Cette matrice micritique est recoupée par des veines sparitiques parallèles les unes des autres. D'après la classification de Folk (1959) et celle de Dunham (1962), il s'agit d'une dismicrite de type mudstone. Roche: calcaire rosâtre

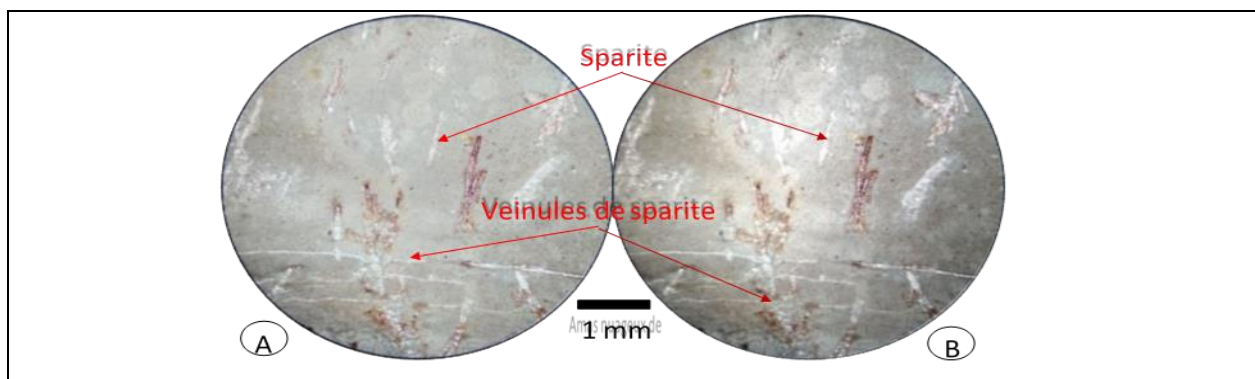


Fig. 5. Lame mince de l'échantillon MB02

❖ Echantillon MB06

• Macroscopie

Roche massive de couleur sombre, constituée des grains très fins de couleur gris sombre. Elle réagit avec le HCL dilué à 10%. (Fig. 6)



Fig. 6. Photo de l'échantillon MB06

- Microscopie

Au microscope, la roche MB06 (Fig. 7) présente deux zones. La première zone est constituée de la micrite renfermant des petits pellets micritiques. La deuxième zone est constituée de la microsparite. D'après la classification de Folk (1959) et celle de Dunham (1962), il s'agit d'un doublet micrite-microsparite. Roche: calcaire sombre

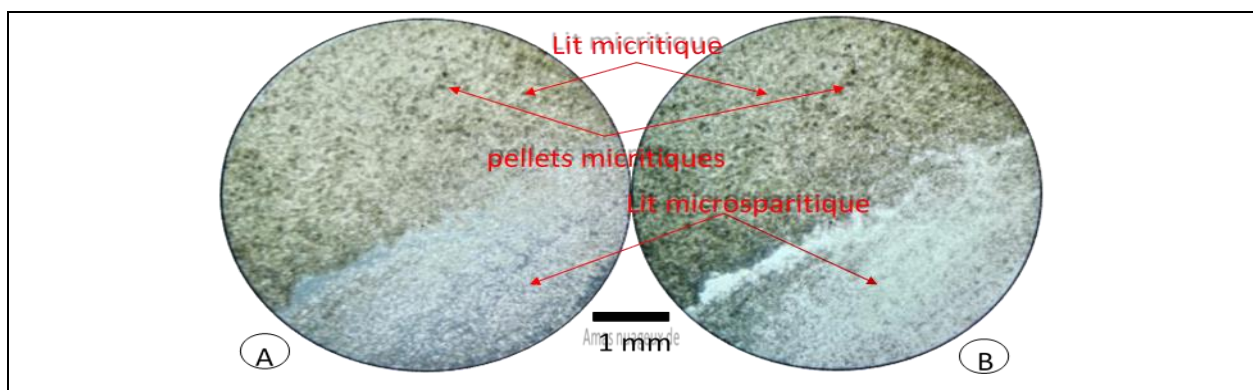


Fig. 7. Lame mince de l'échantillon MB06

- ❖ Echantillon MB08

- Macroscopie

Roche gris sombre à lamination, elle est constituée des grains très fins et présente une lamination stromatolithique traduisant une alternance des lamines gris clair et gris sombre (Fig. 8); l'épaisseur des lamines varie de quelques millimètres. Elle réagit avec le HCL dilué à 10%.



Fig. 8. Photo de l'échantillon échantillon MB01

- Microscopie

Au microscope, la roche MB01 (Fig. 9) est essentiellement constituée par un ciment microsparitique renfermant des petits amas nuageux de matière et quelques amas nuageux et allongés de sparite. D'après la classification de Folk (1959) et celle de Dunham (1962), il s'agit d'une microsparite de type mudstone. Roche: calcaire gris.

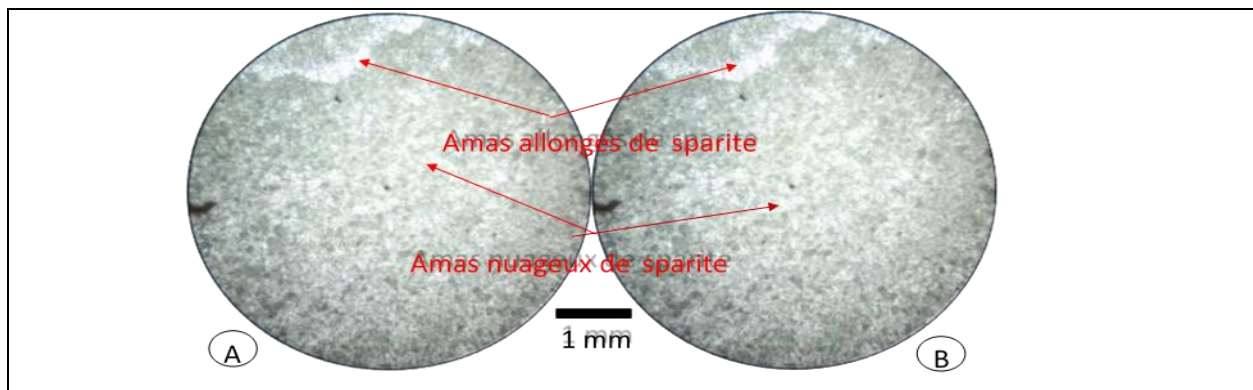


Fig. 9. Lame mince de l'échantillon MB01

- ❖ Echantillon MB08

- Macroscopie

Roche massive gris clair, constituée des grains très fins de couleur gris clair et présentant un remplissage millimétrique par une veine de quartz, un litage frustre et planaire qui se traduit par une alternance des lits de couleur gris clair et brun clair; l'épaisseur des lits gris varie de 4 à 6mm. Elle réagit avec le HCL dilué à 10%. (Fig. 10)

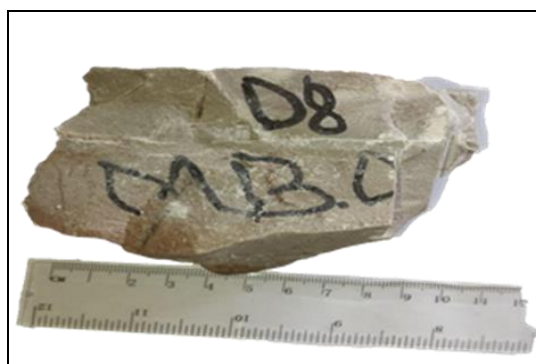


Fig. 10. Photo de l'échantillon MB08

- Microscopie

Au microscope, la roche MB08 (Fig. 11) est essentiellement constituée d'un ciment microsparitique renfermant des amas nuageux subcirculaires de matière organique. Ces derniers sont parfois alignés. D'après la classification de Folk (1959) et celle de Dunham (1962), il s'agit d'un microsparite de types mudstone. Roche: calcaire gris clair

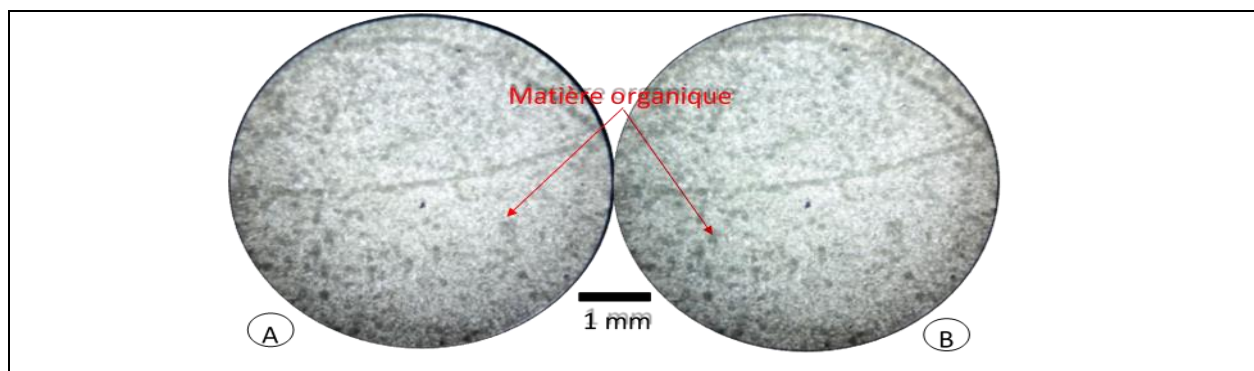


Fig. 11. Lame mince de l'échantillon MB08

Tableau 1. Récapitulatif des toutes les observations microscopiques des lames minces

Echantillons	Textures et liants	Structures sédimentaires et diagenétiques	Constituants biologiques et non biologiques	Lithofacies
MB01	Calcaire de type mudstone Liant : microsparite	-	Pas de reste biologique, présence de quartz	Calcaire gris clair
MB03	Calcaire de type wackstone Liant : matrice et microsparite	-	Pas de reste biologique, calcite	Calcaire sombre
MB02	Calcaire de type mudstone Liant : micrite et sparite (discrimite)	Veine de calcite	Pas de reste biologique	Calcaire rosâtre
MB06	Calcaire de type mudstone Liant : il s'agit d'un doublet micrite-microsparite	-	Pas de reste biologique	Calcaire gris sombre
MB08	Calcaire de type mudstone Liant : microsparite	-	Pas de reste biologique, minéraux argileux et quartz	Calcaire gris clair
MB08'	Calcaire de type mudstone Liant : microsparite	Stylolite	Pas de reste biologique, minéraux détritiques	Calcaire gris clair
MB10	Calcaire de type mudstone Liant : micrite et sparite (discrimite)	-	Présence de veine de calcite	Calcaire rosâtre
MB14	Clastique de l'aspect compact avec litage frustré	-	Abondance des clastes de quartz	Shale rouge
MB16	Calcaire de type mudstone Liant : microsparite	-	Présence de restes biologiques abondants, minéraux détritiques et oxydes de fer	Calcaire gris sombre

MB17	Calcaire de type mudstone Liant : microsparite	-	Pas de reste biologique, abondants minéraux détritiques	Calcaire sombre
MB18	Calcaire de type Wackstone Liant : dismicrite	Veines de calcite	Pas de reste biologique abondant, lithoclaste et oxydes de fer	Calcaire gris clair
MB19	Calcaire de type Mudstone Liant : micrite et microsparite	-	Pas de reste biologique	Calcaire sombre
MB20	Calcaire de type Packstone Liant : micrite et microsparite	-	Pas de reste biologique	Calcaire gris sombre
MB21	Calcaire de type Mudstone Liant : micrite et microsparite	-	Présence de restes biologiques abondants et oxydes de fer	Calcaire gris sombre
MB22	Calcaire de type Mudstone Liant : micrite et microsparite	-	Présence de restes biologiques abondants et des clastes calcitiques	Calcaire gris sombre

3.2 ANALYSE GEOCHIMIQUES

Les résultats géochimiques obtenus à l'aide de la fluorescence X, sont représentés sous forme du Tableau (Tab. 2). Nous avons fait l'analyse de 10 échantillons de divers niveaux géologiques pour avoir une idée globale sur la composition chimique des matériaux.

La distribution dans les éléments (Figures 12 et 13) nous donne la possibilité d'apprendre les relations qui existent entre les éléments.

Tableau 2. Composition chimique (% en oxydes) des différents matériaux

Echantillons	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O
MB01	55,56	0,9237	0,2241	1,99	0,3463	0,327	0,0253	0,444	0,05211	0,0012
MB09	55,95	0,5	0,222	4,206	0,8404	0,14	0,03	0,14	0,17	0,063
MB013	52,8	1	0,86	3,55	1,3	0,45	0,07	0,22	0,23	0,48
MB06	42,9	0,8175	2,36	11,67	0,13	0,4284	0,0529	0,426	0,02965	0,0294
MB03	43,44	14,88	2,05	8,95	0,114	0,23	0,054	0,26	0,034	0,045
MB02	55,01	0,1	0,9502	9,646	0,5441	0,35	0,076	0,21	0,26	0,3
MB08	47,62	1,3	1,38	9,66	2,05	0,24	0,057	0,25	0,56	0,45
MB019	44,72	0,7	1,56	14,24	0,83	0,37	0,062	0,27	0,048	0,31
MB017	46,38	0,25	1,25	12,38	1,33	0,29	0,19	0,2	0,039	0,06
MB022	53,82	0,9	0,96	8,46	0,35	0,43	0,032	0,25	0,12	0,054

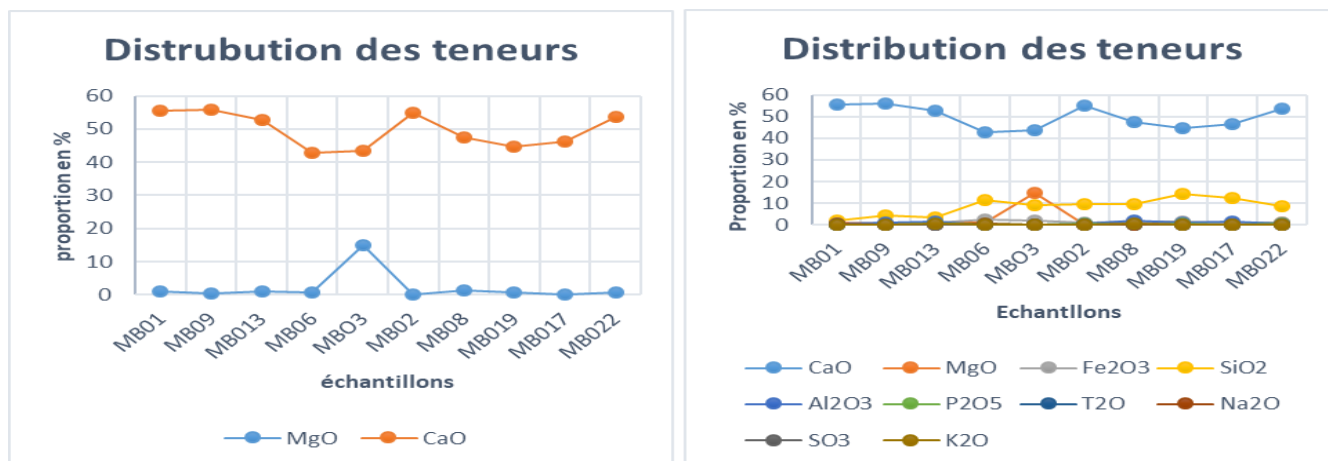


Fig. 12. Distribution des teneurs en oxydes

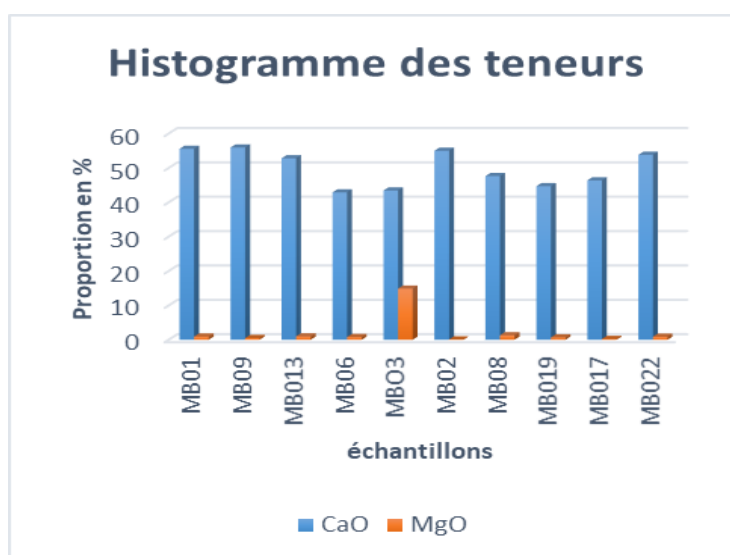


Fig. 13. Distribution des teneurs en CaO et MgO

4 INTERPRETATION ET DISCUSSION

❖ Du point de vue pétrographique

L'étude analytique de terrain et la pétrographie réalisées dans le cadre de ce travail ont permis de mettre en évidence les caractéristiques et propriétés des formations géologiques de la région étudiée. La pétrographie des échantillons a révélé une variété de lithofaciès de calcaires avec des textures diversifiées, notamment de type mudstone, packstone et wackstone, présentant des liants micritiques et spathiques. Ces formations se distinguent par un aspect globalement massif et compact, accompagné de shales apparaissant sous forme de minces couches, de lentilles et d'intercalations.

Dans l'ensemble, la zone d'étude est dominée par les roches sédimentaires de type carbonatés très homogènes et bien stratifié: elles sont gris clair à gris sombre, et contiennent très peu ou pas de lits de shale voir l'esquisse géologique ci-dessous:

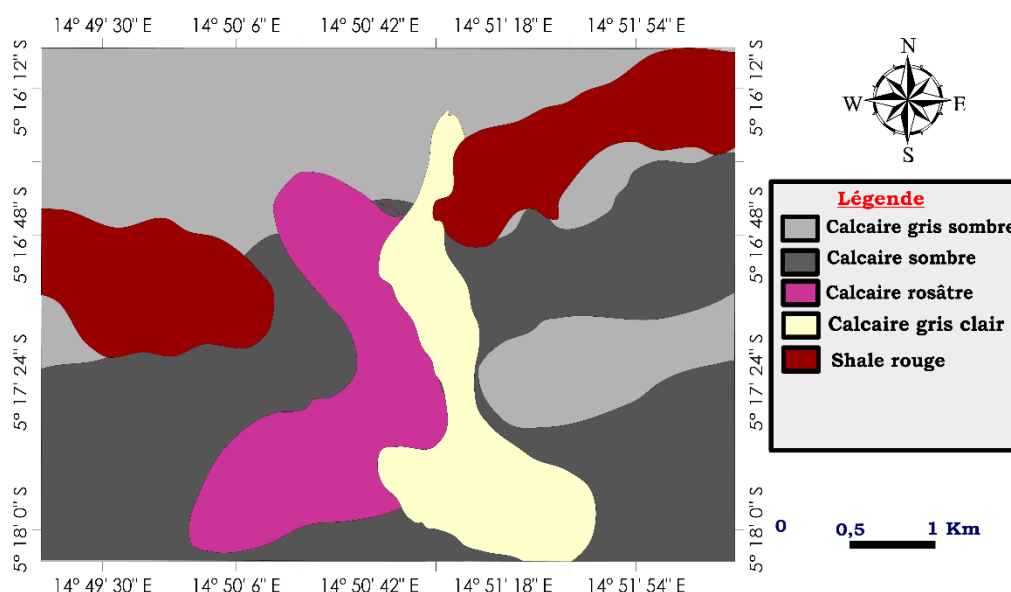


Fig. 14. Esquisse géologique de la cité de Mbanza-Ngungu et ses environs

❖ Du point de vue géochimique

L'histogramme (Fig. 13) et les courbes des distributions (Fig. 12) montrent les variations dans la composition chimique de chaque échantillon analysé.

La distribution des teneurs en CaO et MgO (Fig. 13) montre que plus les teneurs en CaO augmentent plus celles en MgO diminuent. Ce qui vient tout simplement rappeler que les phénomènes de calcification et de dolomitisation évoluent dans le sens inverse et témoignant ainsi que le phénomène de calcification domine sur celui de la dolomitisation dans tous les échantillons.

L'histogramme de Figure 15 montre que les calcaires étudiés ont globalement de bonnes teneurs en CaO (42,9 à 55,9 %). Et il ressort donc que les échantillons MB01, MB09 et M13 du Tableau 2 correspondants respectivement aux lithofaciès de calcaire gris clair sont relativement plus enrichis avec une moyenne de CaO de 54,7 % et MB22, MB17 et MB19 du Tableau 2 correspondant à celui de calcaire sombre sont relativement pauvre avec une moyenne de CaO de 43,17 %.

Il ressort également de ces résultats (Tab. 2) que la proportion de MgO est généralement modérée dans les différents lithofaciès analysés avec une moyenne de 2,13 %, cependant la hausse relative de teneurs (échantillons MB03 et MB08) s'expliquerai par l'abondance en minéraux magnésiens en occurrence de la dolomite et la magnésite.

Les teneurs de SiO₂ variables (1,99 à 14,24 %) caractérisent alors tous les échantillons analysés (Tab. 2), cependant les échantillons MB09, MB06, MB03, MB02, MB08, MB019, MB017 et MB022 présentent des teneurs de SiO₂ relativement élevées, laquelle hausse de teneur s'expliquerai par la présence de nodules de chert ou des amas quartzeux ou encore des veines et veinules des quartz dans les roches indiquant alors une silicification importante dans ces roches.

La teneur en Al₂O₃ reste relativement faible dans la majorité des échantillons analysés, cependant les teneurs relativement fortes observées (échantillons MB013, MB08 et MB017 du Tableau 2) seraient dues à la présence de minéraux argileux dans ces roches.

Les teneurs en FeO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ et SO₃ sont relativement minimales (Tab. 2). La présence de minéraux opaques et les oxydes de fer explique les variations dans les teneurs en Fe dans ces calcaires.

❖ Classification des roches

Dans le cadre de ce travail seul la classification des roches carbonatées en fonction du rapport Ca sur Mg proposée par Graf (1961) est utilisée.

En effet, en faisant un calcul analytique par la méthode de rapport moléculaire (entre Ca, CaO et Mg, MgO) correspondant au titre en place à l'aide d'un classeur Excel, nous avons calculés les titres des ions Ca et Mg partant des résultats des analyses géochimiques (Tab. 3).

Tableau 3. Classification suivant le rapport Ca sur Mg de Graf (1961)

Echantillons	CaO	MgO	Ca	Mg	Rapports Ca sur Mg	Groupes
MB01	55,56	0,9237	39,4476	0,55422	71,176789	Calcaire
MB09	55,95	0,5	39,7245	0,3	132,415	Calcaire
MB013	52,8	1	37,488	0,6	62,48	Calcaire
MB06	42,9	0,8175	30,459	0,4905	62,09785933	Calcaire
MB03	43,44	14,88	30,8424	8,928	3,454569892	Calcaire fortement dolomitique
MB02	55,01	0,1	39,0571	0,06	650,9516667	Calcaire
MB08	47,62	1,3	33,8102	0,78	43,34641026	Calcaire
MB019	44,72	0,7	31,7512	0,42	75,59809524	Calcaire
MB017	46,38	0,25	32,9298	0,15	219,532	Calcaire
MB022	53,82	0,9	38,2122	0,54	70,76333333	Calcaire

Il ressort des résultats de ce Tableau que d'après la classification suivant le rapport Ca sur Mg de Graf (1961), toutes les roches analysées sont des calcaires excepté l'échantillon MB03 qui est un calcaire fortement dolomitique.

❖ Mise en évidence du potentielle de valorisation industrielle de ces calcaires de LUKUNGA

La qualité de calcaire qui est tributaire aux caractéristiques chimiques et physiques, la pureté, la texture et la composition minéralogique de ce dernier et cependant un facteur déterminant pour son potentiel de valorisation industrielle.

En effet, conformément aux certaines normes utilisées dans divers domaines industriels, il ressort du potentiel de valorisation industrielle de calcaires de Lukunga relativement à sa qualité analysée ce qui suit:

Les observations macroscopiques et microscopiques ont donc révélé que ces roches carbonatées sont essentiellement des calcaires homogènes et compacts, composés en prédominance par la calcite et la dolomite. Une deuxième phase minéralogique comprend le quartz, les oxydes de fer et les minéraux opaques.

Cette analyse dénote l'intérêt que revêtent ces matériaux rocheux comme matériaux de construction faisant référence aux normes européennes EN 12620 et Américain Society for Testing and Matériels C33.

La teneur élevée de la silice dans la majorité des faciès de ces calcaires soit supérieure à 5 % en moyenne compromet alors la qualité de ces calcaires du point de vue valorisation dans la fabrication du ciment ordinaire considérant les effets négatifs pouvant en résulter tels que la réactivité excessive, la formation de phases indésirables ou gonflement du clinker.

Il s'avère donc utile de relever cependant que cette hausse de teneur de silice dans ces calcaires peut constituer un facteur positif dans l'industrie cimentière pour certains types de ciment se référant aux normes de l'Américain Society for Testing and Matériels.

Avec une teneur élevée en CaO, moins d'impureté et une texture uniforme et fine, ces calcaires conformément aux normes EN 459 et Américain Society for Testing and Matériels C206 présentent un grand intérêt dans la fabrication industrielle de la chaux.

L'industrie chimique exigeant un calcaire plus pur avec moins de silice en référence aux normes ASTM C25 et ASTM C1109, les calcaires de Lukunga analysés s'avèrent être inappropriés relativement à leurs qualités qui montrent une teneur en silice importante dans la majorité d'échantillons.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer les caractéristiques pétrographique et géochimiques des calcaires de Lukunga ainsi que leurs intérêts économiques dans les industries et dans la vie sociale.

Sur le plan pétrographique, il est révélé que la zone étude est composée d'une variété de lithofaciès de calcaires avec des textures diversifiées, notamment de type mudstone, packstone et wackstone, présentant des liants micritiques et spathiques. Ces formations se distinguent par un aspect globalement massif et compact, accompagné de shales apparaissant sous forme de minces couches, de lentilles et d'intercalations.

Sur le plan géochimique, l'histogramme et les courbes des distributions qui montrent les variations dans la composition chimique de chaque échantillon analysé ont révélés que ces calcaires de Lukunga ont globalement de bonnes teneurs en CaO (42,9 à 55,9 %), des teneurs relativement modérées en MgO, des teneurs de SiO₂ variables (1,99 à 14,24 %), des teneurs relativement faibles en Al₂O₃ et des teneurs très minimes pour le reste des éléments.

La classification des roches carbonatées en fonction du rapport Ca sur Mg proposée par Graf (1961) a montré que toutes les roches analysées sont des calcaires excepté l'échantillon MB03 qui est un calcaire fortement dolomitique.

Les caractéristiques pétrographiques et géochimiques déterminant la qualité qui est un facteur important pour la mise en évidence du potentiel de valorisation industrielle, ont démontrées que ces calcaires de Lukunga, conformément aux normes internationales existantes présentent des caractéristiques susceptibles d'être valorisés dans plusieurs secteurs industriels en occurrence de la fabrication des matériaux de construction, la fabrication de la chaux, cependant ces derniers restent inappropriés pour la fabrication du ciment et pour l'industrie chimique en raison de leur teneur relativement élevée en silice.

REFERENCES

- [1] ALVAREZ P. et MAURIN J.-C., Evolution sédimentaire et tectonique du bassin protérozoïque supérieur de Comba (Congo): stratigraphie séquentielle du Supergroupe Ouest-Congolien et modèle d'amortissement sur décrochements dans le contexte de la tectogénèse panafricaine, *Precambrian Res.*, 50, pp. 137-171, 1991.
- [2] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C1109: Standard Guide for Quality Assurance of Lime and Limestone Products. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2010.
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C206: Standard Specification for Finishing Hydrated Lime. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.
- [4] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C25: Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019.
- [5] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2003.
- [6] BAUDET, D. FERNANDEZ-ALONSO M., KANT KABALU F., TACK L., THEUNISSEN K., DEWAELE S., EEKELERS K., KADJA G., MUJINGA E., NSEKA P., PHAMBU J., KITAMBALA N., KONGOTA E., MATUNGILA J., MUANZA P., TSHIBWABWA A.M., 2013. Notice explicative de la carte géologique de la Province du Bas-Congo et Carte géologique à l'échelle du 1/500.000, version 1.0, MRAC– CRGM, 50p.
- [7] DELHAYE F. ET SLUYS M., 1923. Esquisse géologique du Congo occidentale. Etude du système Schistocalcaire; missions géologiques de 1914 et 1918-19. Bruxelles-Uccle. Etabl. Cartograph.E. Patesson, 1923-1924.
- [8] DELPOMDOR F. et PRÉAT A., Early and late Neoproterozoic C, O and Sr isotope chemostratigraphy in the carbonates of West Congo and Mbuji Mayi supergroups: A preserved marine signature ? *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 389, pp. 35-47, 2013.
- [9] DELPOMDOR F., TACK L., CAILTEUX J., PREAT A., The C2 and C3 formations of the Schisto-Calcaire Subgroup (West Congo Supergroup) in the Democratic Republic of the Congo: An example of post-Marinoan Sea-level fluctuation as a result of extensional tectonisms, *Journal of African Earth Sciences* 110, pp. 14-33, 2015.
- [10] DUNHAM., Classification of carbon at rocks éd. Men. Amer. ass. Petrol. 1, pp. 108-121, 1962.
- [11] European Committee for Standardization (CEN). EN 12620: Aggregates for concrete. Brussels: European Committee for Standardization, 2002.
- [12] European Committee for Standardization (CEN). EN 459: Building lime – Definitions, specifications, and conformity criteria. Brussels: European Committee for Standardization, 2010.
- [13] FOLK., Practical classification of limestone. *AAPG Bull*, 43, pp. 1-38, 1959.

- [14] GRAF, D.L., Chemical and mineralogical relationships in carbonates of the calcite and aragonite groups, *Journal of Geology*, 69 (1), pp. 45–74, 1961.
- [15] LEPERSONNE J., 1973. Carte géologique à l'échelle 1/200.000, Notice explicative de la feuille Ngungu (degré carré S6/14 = SB 33.9), République Démocratique du Congo, Département des Mines, Direction du Service Géologique.
- [16] MAURIN J.-C., La chaîne panafricaine ouest-congolienne: corrélation avec le domaine Est-Brésilien et hypothèse géodynamique, *Bulletin de la société Géologique de France* 764, pp. 51-60, 1993.
- [17] POIDEVIN J.-L., 2004. Chimiostratigraphie des unités carbonatées de la bordure nord du craton du Congo. Résultats Préliminaires. 20ème Coll. Géol. Afr, Orléans-France.
- [18] ZHAO G., SUN M., WILDE S.A., LI S. and ZGANG J., Some key issues in reconstructions of Proterozoic supercontinents. *Journal of Asian Earth Sciences* 28, pp. 3-19, 2006.

Étude sur l'intégration de l'internet des objets pour optimiser la gestion des déchets dans une ville de la RDC

[Study on the Integration of the Internet of Things to Optimize Waste Management in a City in the DRC]

MAZUNZE Bertin, KASONGO NYANGE Franck, TUBONGYE SHABANI Arlène, TSHIKA BILOMBA Bety, NGOMBE LENGE Hydro, and LUKUSA MUVUALA Vicky

Département de Sciences Informatiques, ISC-Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2025 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 explores the integration of the Internet of Things (IoT) into urban waste management in the Democratic Republic of Congo (DRC), focusing on Lubumbashi as a case study. The goal is to address the growing challenges of waste accumulation and inefficient infrastructure management using smart bins. These devices are equipped with sensors to monitor fill levels and communicate in real-time with management systems. The Unified Process (UP) method structured the development, while SysML modeling ensured precise design. A functional prototype was created, demonstrating the effectiveness of the proposed approach in an urban context of the DRC.

KEYWORDS: Internet of Things, Waste management, Smart bins, IoT, UP, SysML, sustainable development.

RESUME: Cette étude explore l'intégration de l'Internet des Objets (IoT) dans la gestion des déchets urbains en République Démocratique du Congo (RDC), avec Lubumbashi comme étude de cas. L'objectif est de résoudre les défis croissants liés à l'accumulation des déchets et à la gestion inefficace des infrastructures en utilisant des poubelles intelligentes. Ces dispositifs sont équipés de capteurs pour surveiller le niveau de remplissage et communiquer en temps réel avec les systèmes de gestion. La méthode Unified Process (UP) a structuré le développement et la modélisation SysML a permis une conception précise. Un prototype fonctionnel a été réalisé, démontrant l'efficacité de l'approche proposée dans un contexte urbain de la RDC.

MOTS-CLEFS: Internet des Objets, Gestion des déchets, Poubelles intelligentes, IoT, UP, SysML, Développement durable.

1 INTRODUCTION

La gestion des déchets urbains constitue un défi majeur dans de nombreuses villes à travers le monde. Dans les villes africaines, la production sans cesse croissante d'ordures ménagères et autres déchets pose un important problème de gestion pour leur collecte et leur traitement [1] et ce problème est particulièrement aigu en République Démocratique du Congo (RDC). Dans les grandes villes de la RDC, les infrastructures de gestion des déchets sont souvent insuffisantes, entraînant un dépôt désordonné des déchets dans les rues et les canaux d'évacuation des eaux (terrassés). Cette situation conduit à une accumulation de déchets, provoquant des obstructions dans les systèmes de drainage et exacerbant les inondations pendant la saison des pluies, tout en créant des risques sanitaires importants pour la population.

Ces dernières années, la pandémie de COVID-19 a révélé de nouvelles vulnérabilités. Le contact avec des surfaces publiques, telles que les poubelles, s'est avéré être un vecteur de propagation des maladies, ajoutant un niveau supplémentaire d'urgence à la gestion hygiénique des déchets.

C'est dans ce contexte complexe que notre motivation pour cette étude prend racine. Nous sommes convaincus que l'intégration de l'Internet des Objets (IoT) représente une opportunité innovante pour relever ces défis. En effet, les technologies IoT permettent une gestion plus intelligente des déchets, grâce à des dispositifs interconnectés capables de communiquer en temps réel. Pour notre recherche, nous envisageons l'utilisation de poubelles intelligentes, équipées de capteurs de remplissage et d'autres dispositifs, permettant d'améliorer les processus de collecte et de traitement des déchets en milieu urbain.

1.1 PROBLEMATIQUES

La gestion des déchets ménagers et, par extension, la planification et la gestion de l'environnement urbain sont des questions complexes pour les gestionnaires urbains en raison de leurs effets sur l'environnement et la santé humaine, ainsi que pour la situation financière des villes [2]. La question des déchets au cours de ces dernières décennies en République Démocratique du Congo est devenue une préoccupation majeure car la production journalière moyenne des déchets solides dans la ville de Kinshasa est estimée à 10 000 tonnes et le taux d'assainissement n'est estimé qu'à 20% sur l'étendue du pays [3]. L'environnement urbain est insalubre car les déchets solides, les eaux usées et les eaux pluviales dépassent les capacités financières des administrations communales à les traiter au même rythme de leur production. Les caniveaux sont bouchés avec des ordures jetées sans tri produisant ainsi des pollutions visuelles [4].

Depuis longtemps, plusieurs entreprises ont été créées par le gouvernement pour s'occuper des déchets. La loi n°11/009 du 9 juillet 2011, qui parle de la protection de l'environnement, dit que la gestion des déchets est importante pour protéger la nature. Cependant, cette loi n'est pas bien appliquée à cause du manque d'argent, du manque de contrôle, et de la faible participation des citoyens [5].

Dans presque toutes les villes de la RDC, des entreprises sont mises en place pour gérer les déchets. Mais ces entreprises n'arrivent pas à résoudre le problème, car on trouve encore beaucoup de déchets dans les rues, ce qui pose des problèmes pour les habitants. Même les entreprises privées qui viennent aider les entreprises publiques ont du mal à fonctionner, car elles manquent de moyens. Elles ne payent pas bien leurs travailleurs, accumulent des mois de retard de salaire et n'ont pas assez d'argent pour entretenir leurs équipements. Ces problèmes, comme le manque d'entretien des véhicules et des machines, rendent le travail difficile pour ces entreprises. De nombreuses campagnes lancées pour la salubrité telles que: « opération Kin-propre » en septembre 1977 « Salongo » et depuis mars 2005: opération coup de poing « Kin-Bopeto » et la récente de la Fédération des ONG laïques à vocation Economique au Congo (FOLECO) [6].

Le programme d'assainissement Kinshasa Bopeto, lancé le 19 octobre 2020 sous l'impulsion du gouverneur Gentiny Ngobila Mbaka et en présence du président Félix Antoine Tshisekedi. La population attendait impatiemment de voir la propreté de la ville et surtout la réussite sur l'accumulation des immondices dans les avenues et des routes principales de Kinshasa. Mais malheureusement malgré ces efforts, les déchets continuent de s'accumuler dans divers quartiers de Kinshasa.

En posant notre regard dans la ville de Lubumbashi, il s'avère que de manière quotidienne, « les plastiques sont fortement utilisés à Lubumbashi » [7]. Mais sa gestion après usage pose un sérieux problème. On observe les plastiques usés partout, les longs des avenues, dans des caniveaux et autres canalisations d'eau. Sur le grand canal appelé Naviundu qui traverse la chaussée de Kasenga au niveau de l'arrêt de bus Texaco au quartier Bel-Air et sur l'avenue de Plaine, on y observe un tas de bouteilles en plastique formant une nappe qui couvrent tout le canal. Cette nappe empêche ainsi le passage des eaux. Il est donc difficile d'apercevoir l'eau.

Et pourtant, les autorités politico-administratives en partenariat avec les ONG évoluant dans le domaine de l'environnement organisent des séances de sensibilisation sur les conséquences des plastiques sur l'environnement. Ceci, en vue de lutter contre la pollution plastique. Mais le comportement des citoyens demeure le même et les objectifs sont loin d'être atteints.

1.2 HYPOTHESES

Pour remédier aux problèmes précités, nous estimons que l'intégration de nouvelles technologies, notamment l'Internet des Objets (IoT), apparaît comme une solution innovante et adaptée. L'utilisation de capteurs IoT dans les poubelles publiques permettrait de surveiller le niveau de remplissage en temps réel. Ces capteurs, connectés à une plateforme centrale, envoient des données sur le statut des poubelles, permettant ainsi aux entreprises publiques et privées de planifier de manière optimale les itinéraires de collecte. Cela éviterait le débordement des poubelles et réduirait le temps et les coûts liés à la collecte.

Grâce aux données collectées par les capteurs IoT, les itinéraires de collecte des camions pourraient être optimisés pour se rendre uniquement dans les zones où les poubelles sont pleines. Cette solution réduirait non seulement le gaspillage de

carburant, mais aussi les coûts d'opération, tout en garantissant un service plus efficace. Le succès de toute solution technologique dépend aussi de la participation des citoyens. Une campagne de sensibilisation à grande échelle serait mise en place pour informer la population sur l'importance de la gestion des déchets et l'utilisation correcte des poubelles intelligentes. Les citoyens pourraient également être encouragés à participer via une application mobile, qui permettrait de signaler les zones problématiques en termes de déchets. De plus, les poubelles seraient équipées de haut-parleurs pour sensibiliser et assister les usagers sur la façon d'utiliser ces poubelles intelligentes. Afin de faciliter le recyclage, les poubelles intelligentes seraient équipées de deux compartiments, permettant ainsi de trier les déchets selon leur nature (plastiques, papiers, organiques, etc.). Le module GSM servirait à notifier les acteurs responsables des poubelles sur leur niveau de remplissage, tandis que le module GPS permettrait de localiser facilement les poubelles intelligentes.

Enfin, un partenariat entre les municipalités et les entreprises privées serait essentiel pour financer et déployer l'infrastructure IoT. Les entreprises privées, comme Katanga Usafi et autres, pourraient également bénéficier d'une meilleure organisation et efficacité grâce à la technologie, tout en contribuant à améliorer la propreté des villes. Grâce à l'infrastructure IoT, il est possible de suivre l'emplacement des conteneurs de déchets, de surveiller le niveau de déchets déposés, d'identifier les emplacements avec la plus forte demande, de suggérer le chemin le plus court pour l'optimisation de la collecte des déchets solides, ou même d'interagir avec les citoyens pour encourager le dépôt à des moments où le conteneur peut recevoir des déchets [8].

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette section décrit les ressources et approches utilisées pour concevoir et valider la solution IoT pour la gestion des déchets urbains à Lubumbashi.

2.1 MATÉRIELS

La mise en œuvre d'une poubelle intelligente pour la ville de Lubumbashi repose sur un ensemble de composants matériels et logiciels soigneusement sélectionnés pour répondre aux besoins du projet.

Parmi ces composants, on retrouve:

- Les matériels métalliques tel que les tôles, les tubes, les cornières pour fabriquer le prototype de la poubelle en métal. Le choix du métal est justifié par sa robustesse face aux conditions climatiques de Lubumbashi, où les températures peuvent varier énormément.
- **Panneau solaire:** Assure l'alimentation en énergie de manière durable.
- **Batterie:** Stocke l'énergie pour garantir une autonomie même en l'absence de soleil.
- **Capteurs IoT:** Incluent des capteurs de présence et de niveau de remplissage pour surveiller l'état des déchets.
- **Modules GPS et GSM:** Permettent la localisation et la transmission des données en temps réel.

Nous avons aussi utilisé les composants immatériels essentiels à la conception, au développement et à la gestion de notre projet de la poubelle intelligente. Ces outils et technologies immatériels ont été des piliers indispensables pour garantir l'efficacité et la fluidité de l'ensemble du système, allant de la programmation à la gestion des données. Nous avons utilisé ici les outils tel que:

- **Android Studio:** Cet IDE (Integrated Development Environment) est utilisé pour le développement de l'application mobile Android.
- **Framework Flutter:** Le Framework Flutter, développé par Google, est un SDK open-source pour le développement d'applications mobiles multiplateformes. Dans notre cas, Flutter est utilisé pour construire l'interface utilisateur de l'application mobile qui permet aux agents de l'assainissement urbain d'interagir avec la poubelle, de recevoir des notifications, et de gérer les commandes.
- **IDE Arduino:** L'environnement de développement Arduino (Arduino IDE) nous a été très essentiel pour programmer la carte Arduino Mega 2560 de notre système.
- **Langage de programmation Dart:** Dart est le langage de programmation utilisé par Flutter pour le développement d'applications mobiles. Il est optimisé pour les interfaces utilisateur réactives et fournit une grande flexibilité pour gérer les états de l'application, tels que les interactions avec les capteurs de la poubelle, l'ouverture et la fermeture des couvercles, ou encore les notifications envoyées aux utilisateurs.

- **Langage de programmation: C++ (Arduino):** Le langage de programmation Arduino, basé sur le C++, est conçu pour contrôler les microcontrôleurs de la carte Arduino. Ce langage a été utilisé dans notre étude pour nous aider à téléverser les codes dans la carte Arduino.
- **Base de données firebase:** Pour ce projet, nous utilisons Firebase comme système de gestion de base de données. Firebase est une plateforme de développement d'applications mobiles qui fournit des services cloud tels que la base de données en temps réel, l'authentification, et les notifications.

2.2 MÉTHODES

La méthodologie adoptée pour ce projet repose sur le Processus Unifié (UP), une approche itérative et incrémentale qui garantit la gestion efficace des risques et des exigences. Le système a été modélisé à l'aide du langage SysML, qui permet de représenter graphiquement les composants, les interactions et les états du système. Après l'analyse faite du système métier, nous avons identifié les acteurs et les cas d'utilisations suivants:

Tableau 1. Tableau des acteurs

N°	Acteur	Description
1	Utilisateur	Le citoyen qui utilise les poubelles intelligentes pour jeter ses déchets. Il interagit avec le système, notamment en recevant des messages de sensibilisation.
2	Collecteur de déchets	Le professionnel chargé de la collecte des déchets. Il reçoit des notifications concernant le niveau de remplissage des poubelles et leur localisation pour optimiser la collecte.
3	Administrateur	La personne responsable de la gestion et de la supervision du système. L'administrateur analyse les données, gère les utilisateurs et veille à l'efficacité globale du système.

Tableau 2. Identifications des cas d'utilisation

N°	Cas d'utilisation	Description
	Détecter présences	Ce cas d'utilisation permet au capteur de présences de détecter les présences des utilisateurs
1	Gérer les ouvrants	Ce cas d'utilisation permet aux servomoteurs de contrôler l'ouverture et la fermeture des ouvrants de la poubelle.
2	Déposer des déchets	Ce cas d'utilisation permet aux utilisateurs de jeter les déchets dans la poubelle.
3	Notifier le niveau de remplissage	Ce cas d'utilisation permet au module GSM de notifier le collecteur dès que la poubelle est pleine.
4	Sensibiliser les citoyens	Ce cas d'utilisation permet au module DF Player de passer le message de sensibilisation des citoyens.
5	Gérer les utilisateurs	Ce cas d'utilisation permet à l'administrateur de gérer les utilisateurs.
6	Gérer les poubelles	Ce cas d'utilisation aux collecteurs de gérer les poubelles dans le système.
7	Localiser les poubelles	Ce cas d'utilisation permet aux utilisateurs de localiser rapidement les poubelles dans la ville.
8	S'authentifier	Ce cas d'utilisation permet aux utilisateurs de se connecter dans le système.
9	Créer un compte	Ce cas d'utilisation permet aux nouveaux utilisateurs de créer un compte dans le système.

Plusieurs diagrammes SysML ont été utilisés pour concevoir et décrire le système parmi lesquels nous présentons ici:

1. Diagramme des exigences: Un diagramme des exigences (requirement diagram) répertorie en les classant les affinements des fonctions d'usage et les différentes contraintes et conditions qui doivent être respectées par le système afin qu'il puisse fonctionner correctement mais qui ne sont pas des buts principaux [9]. Nos exigences ont été regroupées en deux familles, les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles. Et chaque famille des exigences représente un diagramme à part. L'image ci-dessous montre le diagramme des exigences de notre système de la poubelle intelligente.

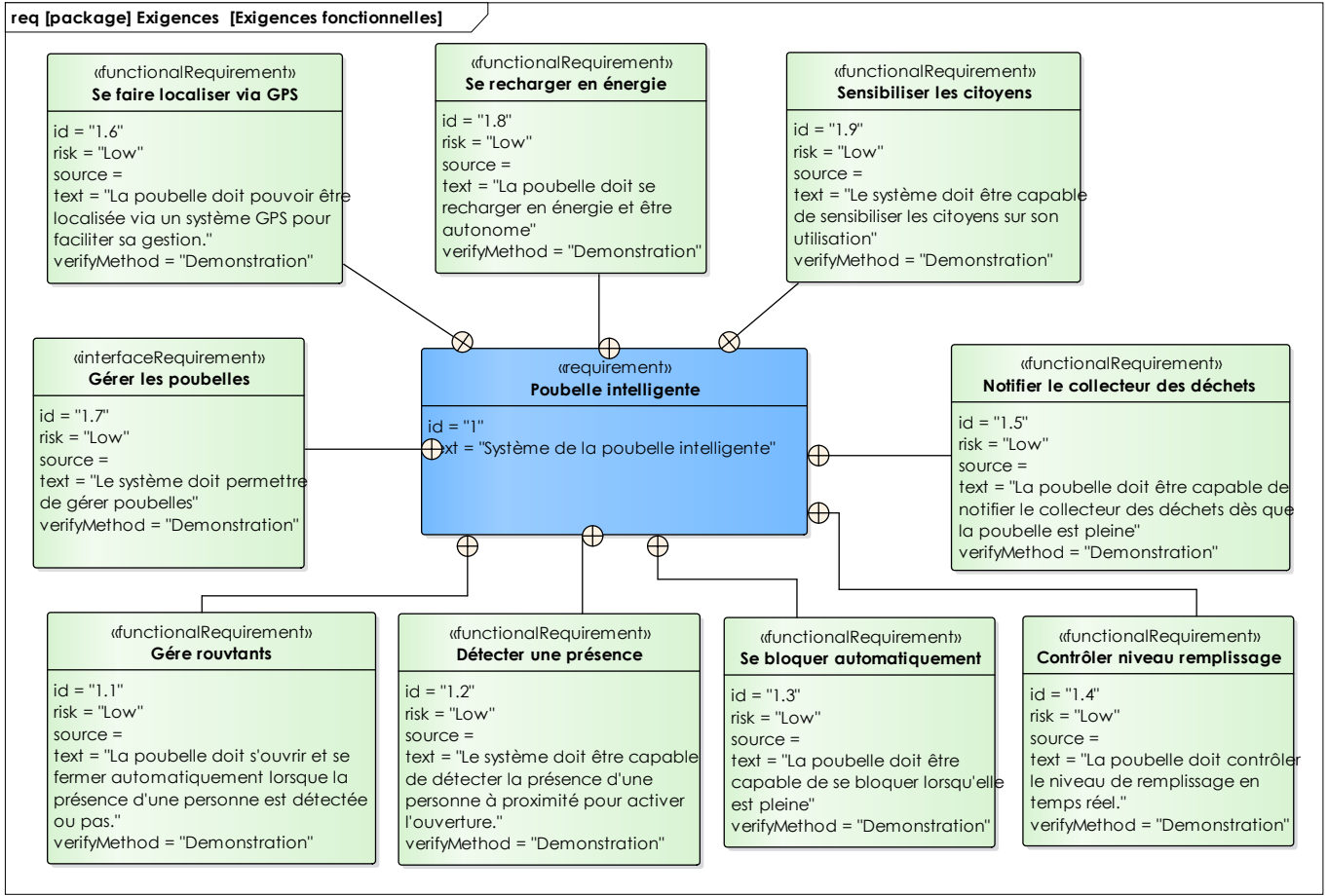


Fig. 1. Diagramme des exigences fonctionnelles

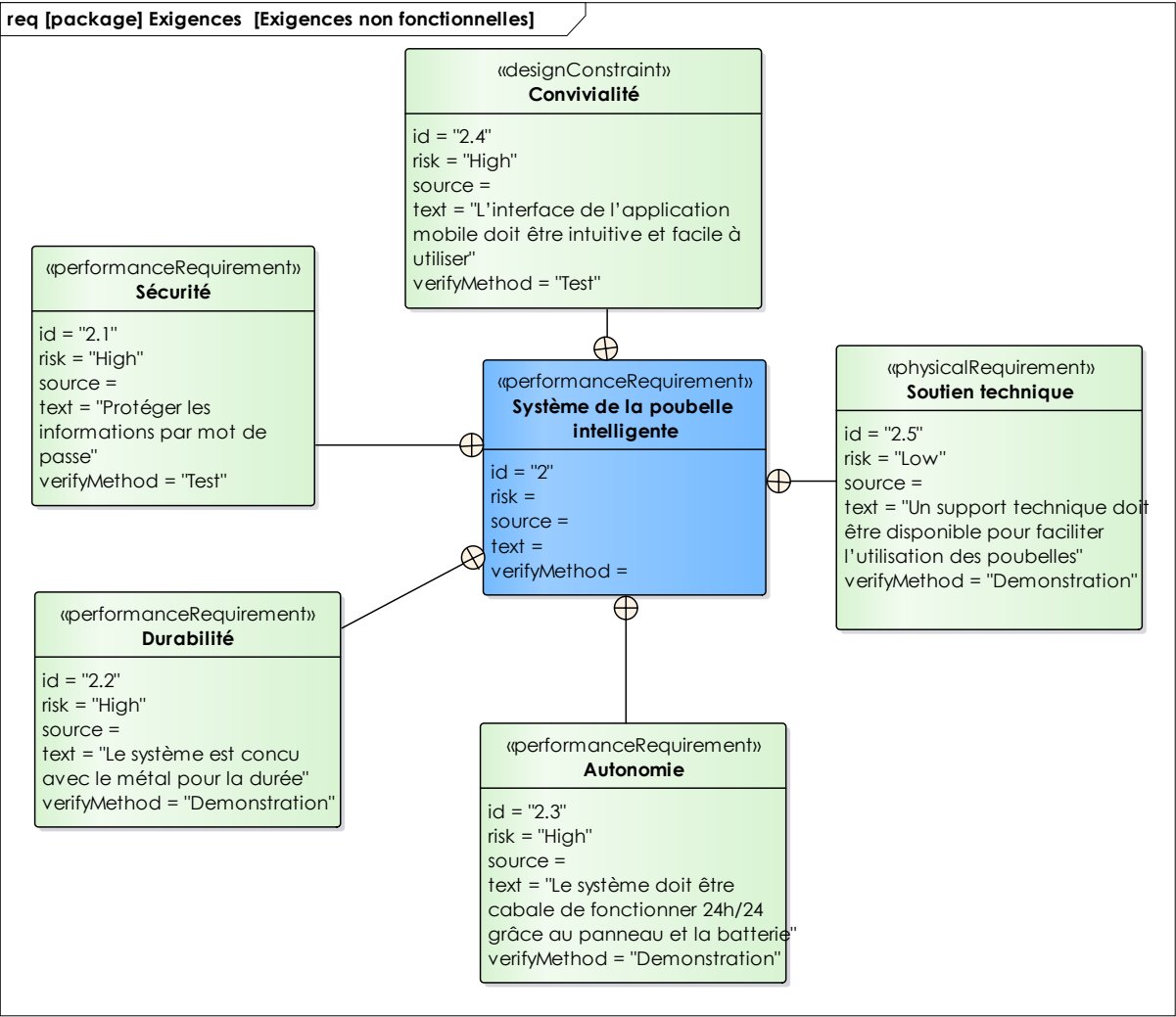


Fig. 2. Diagramme des exigences non-fonctionnelles

2. Diagramme des cas d'utilisation: Ce diagramme décrit les interactions entre les utilisateurs, les collecteurs, et le système. L'image ci-dessous représente notre diagramme de cas d'utilisations.

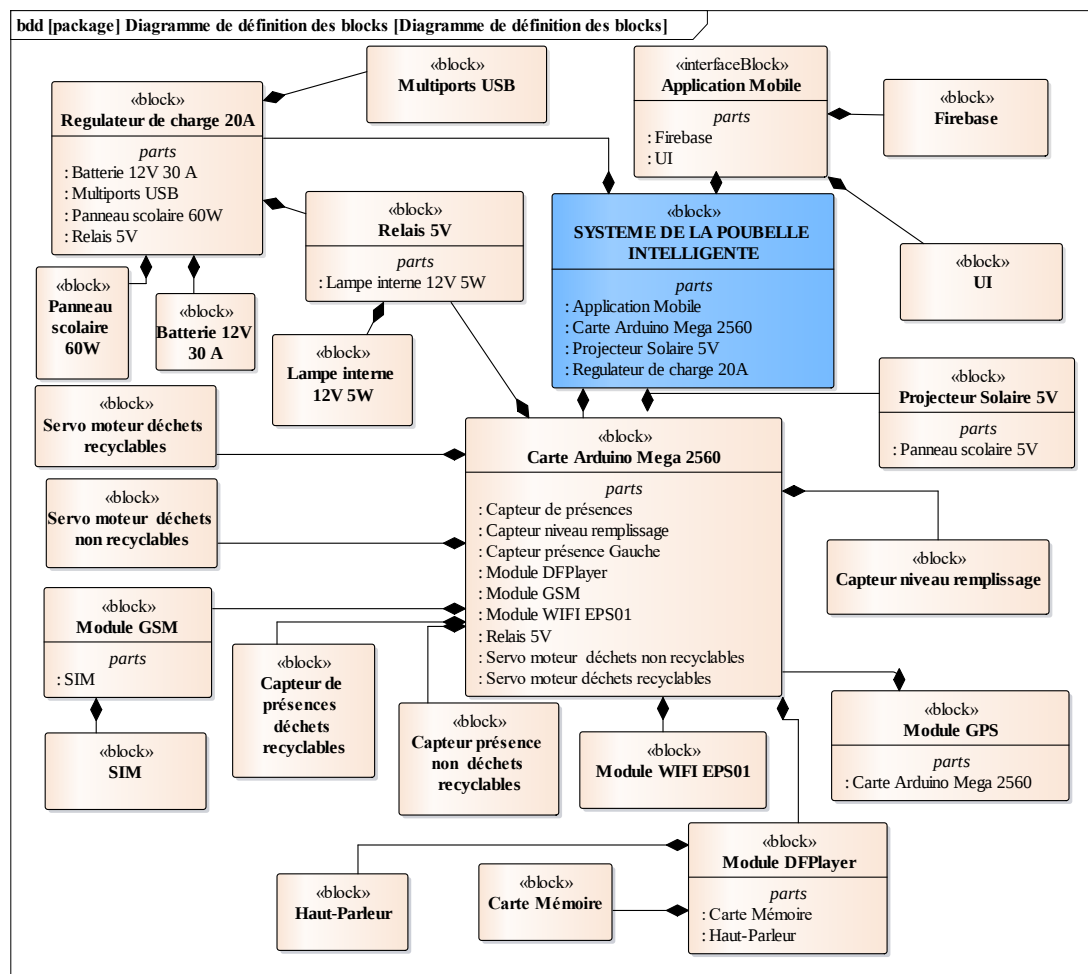


Fig. 4. Diagramme des blocks système de la poubelle intelligente

4. Diagramme des blocs internes: ce diagramme décrit les interactions entre les composants internes, comme les capteurs et les modules de communication. L'image suivante montre le diagramme de blocks internes de notre système de la poubelle intelligente:

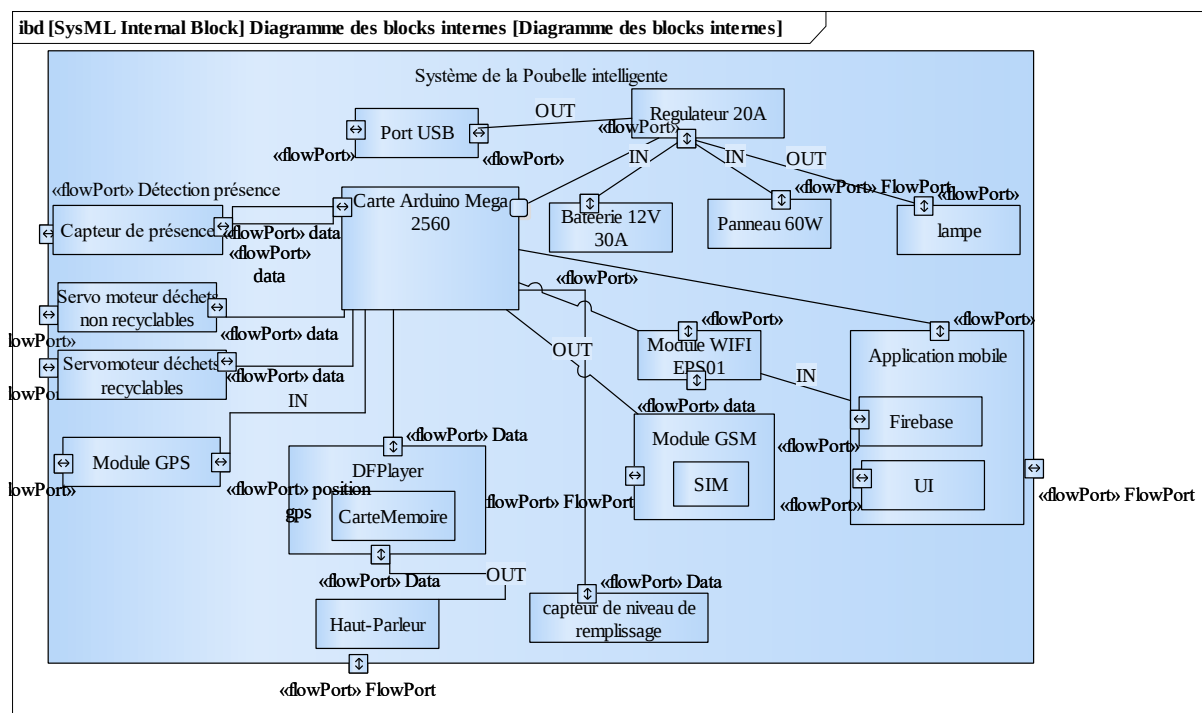


Fig. 5. Diagramme des blocks internes

5. Le diagramme d'état de transition: ce diagramme, est un type de diagramme comportemental qui illustre les différents états par lesquels un système ou un objet peut passer, ainsi que les transitions qui les relient en fonction d'événements spécifiques. Ce diagramme est particulièrement utile pour modéliser la dynamique d'un système en réaction aux événements externes ou internes.

L'image ci-dessous montre les différents états que notre poubelle intelligente traverse dans son fonctionnement:

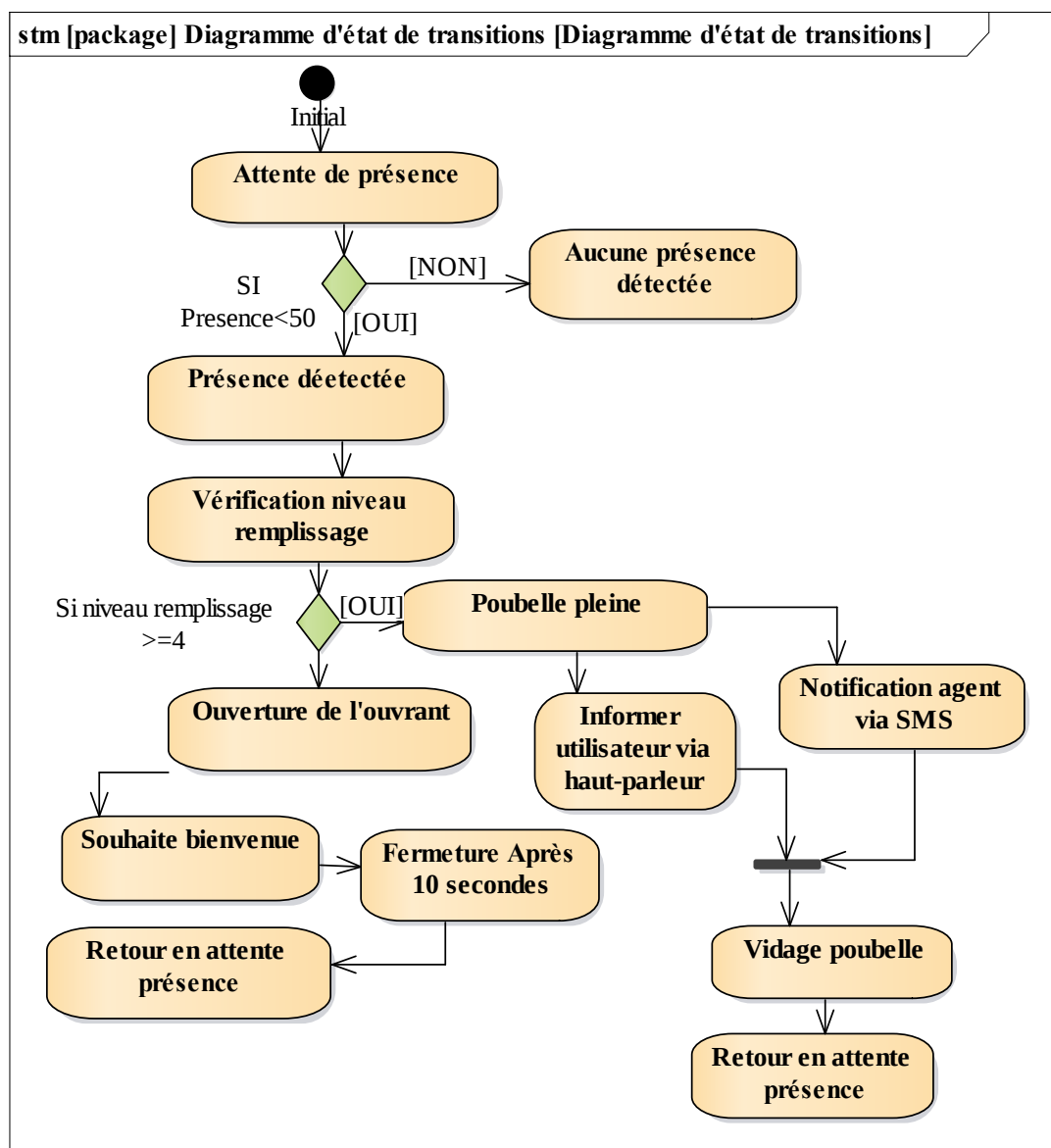


Fig. 6. Diagramme d'état de transitions

3 RÉSULTATS

3.1 RÉSULTATS OBTENUS

Sur l'image ci-dessous, nous présentons le résultat de notre étude, concrètement la poubelle intelligente.



Fig. 7. Présentation de la poubelle intelligente

Notre poubelle intelligente est équipée de technologies avancées qui facilitent son utilisation, permettent un suivi en temps réel et optimisent la gestion des déchets. Ses principales fonctionnalités sont les suivantes:

1. **Capteur de présence:** La poubelle s'ouvre automatiquement à l'approche d'une personne, sans nécessiter de contact manuel. Cette fonctionnalité assure hygiène et commodité pour les utilisateurs.
2. **Détecteur de niveau de remplissage:** Un capteur intégré mesure en temps réel le niveau de remplissage de la poubelle. Lorsque le niveau atteint un seuil critique, une alerte est envoyée aux équipes de collecte via une application dédiée, optimisant ainsi le ramassage des déchets.
3. **Notifications automatiques:** Notre poubelle intelligente est capable d'envoyer des notifications par SMS aux services municipaux dès qu'elle est pleine, garantissant une intervention rapide et évitant les débordements.
4. **Géolocalisation par GPS:** Grâce à un module GPS, la localisation de la poubelle est suivie en temps réel, facilitant la planification des itinéraires de collecte.
5. **Synthèse vocale pour sensibilisation:** La poubelle diffuse des messages vocaux en français et en langues locales pour encourager les citoyens à jeter leurs déchets dans les poubelles, renforçant ainsi la sensibilisation écologique.
6. **Autonomie énergétique:** Alimentée par des panneaux solaires, la poubelle fonctionne de manière autonome sans besoin de branchement électrique externe, assurant un fonctionnement continu et écologique.

Sur image ci-dessous, nous présentons l'application mobile de notre poubelle intelligente. Ici, l'application récupère la position de l'utilisateur et lui indique la poubelle la plus proche, en affichant la distance ainsi que le temps nécessaire pour s'y rendre. Et l'image à droite, montre l'interface de contrôle de niveau de remplissage de la poubelle.

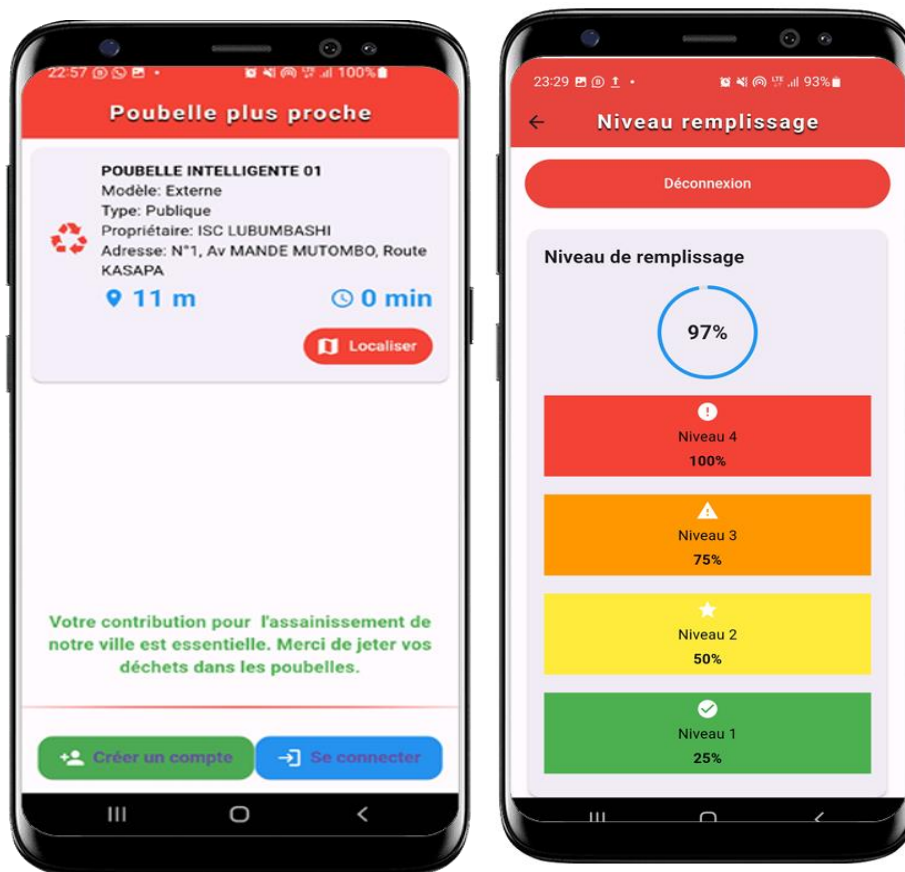


Fig. 8. Localisation de la poubelle et contrôle du niveau de remplissage



Fig. 9. Système de notification agent collecteur par SMS

Les tests réalisés dans le cadre de ce projet ont mis en évidence des améliorations significatives dans la gestion des déchets grâce aux poubelles intelligentes. Plusieurs résultats clés ont émergé:

- **La Réduction des trajets inutiles:** Les agents de collecte ont constaté une diminution notable des déplacements inutiles, réduisant ainsi les coûts opérationnels et l'empreinte carbone. Selon leurs propres mots, « nous savons exactement quand intervenir, ce qui nous fait économiser du temps et des ressources. »
- **L'autonomie énergétique fiable:** Les panneaux solaires ont permis de garantir un fonctionnement continu du système, même dans des conditions météorologiques variables. Un collecteur a mentionné que « c'est rassurant de voir que le système ne dépend pas de l'électricité de la ville, souvent instable. »
- **Impact sur les citoyens:** De nombreux utilisateurs ont témoigné d'une meilleure accessibilité aux poubelles et d'une prise de conscience accrue. Une autorité locale a déclaré: « les gens commencent à respecter davantage l'environnement grâce à cette innovation. »

3.2 CODES SOURCES

L'image suivantes montre l'extrait des codes sources de notre solution de la poubelle intelligente. Il s'agit ici des codes sources de la partie Intelligente de notre système de la poubelle intelligente.

POUBELLEMAZ2024 | Arduino IDE 2.3.3

Fichier Modifier Croquis Outils Aide

Selectionner une carte

POUBELLEMAZ2024.ino

```

1  #include <Servo.h> // Librairie pour contrôler les servomoteurs
2  #include "DFRobotDFPlayerMini.h"
3  #include <SoftwareSerial.h>
4
5  SoftwareSerial bluetoothSerial(17, 16); // Configuration du port série pour Bluetooth
6  DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
7  bool isPlaying = false;
8
9  // Définir les broches pour le capteur ultrason droit
10 const int trigPinDroit = 9;
11 const int echoPinDroit = 8;
12 unsigned long dernierTempsPresence = 0; // Temps de la dernière détection de présence
13 const long delaiSansPresence = 120000; // 2 minutes (120 000 millisecondes)
14 bool chanson1Jouee = false; // Pour s'assurer que la chanson 1 n'est jouée qu'une fois toutes les 2 minutes
15
16 // Définir les broches pour le capteur ultrason gauche
17 const int trigPinGauche = 11;
18 const int echoPinGauche = 10;
19 const int ledRouge = 2;
20
21
22 // Définir les broches pour le capteur de niveau de remplissage
23 const int trigPinNiveau = 12;
24 const int echoPinNiveau = 13;
25
26 // Définir la broche du relais pour la lampe
27 const int relaisPin = 5;
28

```

```

169 Serial.println(distanceRemplissage);
170
171 // Déterminer le niveau de remplissage
172 int niveauRemplissage = determinerNiveau(distanceRemplissage);
173 estPoubellePleine = (niveauRemplissage == 4);
174
175 // Afficher le niveau de remplissage dans le moniteur série
176 Serial.print("Niveau de remplissage: ");
177 Serial.println(niveauRemplissage); // Affiche le niveau de remplissage
178
179 bluetoothSerial.println(distanceRemplissage);
180
181 if (niveauRemplissage == 4) {
182     myDFPlayer.play(3); // Jouer la chanson 2 (poubelle pleine)
183     servoDroit.write(140);
184     servoGauche.write(110);
185     clignoterLEDRouge();
186 }
187
188 // Si une présence est détectée (distance <= 50), mettre à jour le dernier temps de présence
189 if (distanceDroit <= 50 || distanceGauche <= 50) {
190     dernierTempsPresence = tempsActuel; // Mettre à jour le temps de la dernière détection de présence
191     chanson1Jouee = false; // Réinitialiser la condition pour rejouer la chanson 1 après une nouvelle détection
192
193     // Gérer l'ouverture des portes et jouer la chanson 1 ou 2 selon le niveau de remplissage
194     if (estPoubellePleine) {
195         clignoterLED(distanceDroit <= 50 ? ledDroite : ledGauche);
196         myDFPlayer.play(3); // Jouer la chanson 2 (poubelle pleine)
197         servoDroit.write(140);
    
```

Fig. 10. Extrait des codes sources de la poubelle intelligente

```

100 @override
101 Widget build(BuildContext context) {
102     return Scaffold(
103       appBar: AppBar(
104         title: const Text(
105           'Poubelle plus proche',
106           style: TextStyle(
107             color: Colors.white,
108             fontWeight: FontWeight.bold,
109             fontSize: 20,
110             letterSpacing: 2,
111             shadows: [
112               Shadow(offset: Offset(0, 2), blurRadius: 3),
113             ],
114           ), // TextStyle
115         ), // Text
116         centerTitle: true,
117         backgroundColor: Colors.red,
118       ), // AppBar
119       body: _loading
120         ? Center(child: CircularProgressIndicator(
121             valueColor: AlwaysStoppedAnimation<Color>(Colors.red),
122           )) // CircularProgressIndicator
123         : _poubellesProches.isEmpty
    
```

Fig. 11. Extrait des codes sources de l'application mobile

3.3 RETOUR D'EXPÉRIENCE

3.3.1 FEEDBACK DES UTILISATEURS

Les retours des utilisateurs, comprenant les agents de collecte des déchets et les autorités locales, ont été globalement positifs. Les utilisateurs ont apprécié l'ergonomie, l'ouverture automatique, et le système de notifications pour le niveau de remplissage. Cependant, ils ont suggéré d'augmenter la taille de la poubelle, soulignant qu'une capacité plus grande serait préférable pour un usage public, afin de mieux gérer des volumes de déchets plus importants dans les espaces publics.

3.3.2 ANALYSE CRITIQUE

L'analyse critique du prototype a mis en avant les points forts et quelques pistes d'amélioration. L'autonomie énergétique fournie par les panneaux solaires et l'efficacité des notifications automatiques réduisant le risque de débordement sont parmi les réussites majeures du projet. Cependant, la suggestion d'augmenter la capacité de la poubelle est pertinente pour son utilisation en milieu urbain. Cette observation guidera la conception de prochaines versions, en veillant à adapter la taille de la poubelle pour des lieux publics et ainsi garantir une gestion des déchets plus efficace.

3.3.3 SUGGESTIONS UTILISATEURS

Les utilisateurs ont formulé plusieurs suggestions pour améliorer l'efficacité de la poubelle intelligente dans un cadre public:

- **Augmentation de la capacité:** La principale recommandation est d'augmenter la taille de la poubelle pour une capacité de stockage plus importante, adaptée aux espaces publics où les volumes de déchets sont généralement plus élevés.
- **Renforcement de la structure:** Pour faire face aux conditions climatiques locales, il est suggéré de renforcer la structure de la poubelle avec des matériaux plus résistants.
- **Optimisation des notifications:** Certains utilisateurs ont proposé d'affiner le système de notifications pour éviter les alertes multiples inutiles et les ajuster en fonction du niveau exact de remplissage.

4 DISCUSSION DES RESULTATS

L'implémentation de notre solution de gestion intelligente des déchets, basée sur l'Internet des objets (IoT), a permis de développer un prototype de poubelle connectée capable de recueillir et de transmettre des informations en temps réel sur le niveau de remplissage et la localisation de chaque unité. Ce dispositif, une fois testé, a montré une capacité significative à répondre aux besoins de gestion des déchets dans des zones urbaines à forte densité, permettant ainsi une optimisation du ramassage et une réduction des coûts opérationnels. En effet, les causes de la production des déchets sont multiples et varient en fonction de plusieurs facteurs socio-économiques, démographiques et culturels. L'activité humaine a, de tout temps, été génératrice de déchets et chaque époque a eu son mode de traitement et... ses problèmes spécifiques [11]. Aujourd'hui, le déchet est un indicateur de l'existence humaine qui dégrade l'environnement si les mesures de protection ne sont pas réunies. Plus de 6000000 de tonnes de déchets sont évacuées sauvagement, et la manière de les gérer constitue un danger affectant notre écosystème [12]. Sur ce, il faut donc une solution durable pour maintenir les villes de la RDC plus propre. Les résultats de notre étude ont démontré que l'intégration de capteurs dans le système de gestion des déchets permet de suivre en temps réel les niveaux de remplissage, contribuant ainsi à réduire le nombre de trajets de collecte inutiles. L'accès aux données via une interface mobile et le stockage de ces informations dans un serveur cloud assurent leur disponibilité pour les agents de collecte et les responsables municipaux.

Cependant, des défis subsistent, notamment en ce qui concerne la durabilité de l'équipement électronique face aux conditions environnementales et la nécessité d'une couverture réseau étendue pour garantir la transmission continue des données. Des recherches supplémentaires seraient nécessaires pour évaluer la viabilité de la solution dans différentes conditions climatiques et topographiques en République Démocratique du Congo. Au cours de notre étude sur l'intégration de l'Internet des Objets (IoT) pour optimiser la gestion des déchets dans la ville de Lubumbashi, nous avons formulé plusieurs hypothèses qui ont été testées tout au long de notre recherche. Nous avons démontré que l'IoT offre des solutions concrètes aux problèmes rencontrés par les villes de la RDC en matière de gestion des déchets. Nous avons constaté que l'intégration de capteurs IoT dans les poubelles permet une collecte basée sur des données en temps réel. Grâce à l'analyse des niveaux de remplissage, les itinéraires de collecte peuvent être optimisés, réduisant ainsi les coûts opérationnels et améliorant l'efficacité. Des simulations ont montré une diminution significative des trajets inutiles, permettant ainsi aux équipes de collecte de gagner du temps et d'énergie.

La mise en place d'une infrastructure IoT a également contribué à sensibiliser les citoyens. L'interface vocale intégrée aux poubelles a facilité l'éducation des usagers sur l'importance de la propreté urbaine et du tri des déchets. Les campagnes de sensibilisation menées en parallèle ont conduit à une augmentation de la participation des citoyens aux initiatives de recyclage, avec une hausse des déchets correctement triés.

Enfin, notre analyse a montré que le modèle économique proposé est viable. Les économies réalisées grâce à la réduction des coûts de collecte et à l'amélioration des conditions sanitaires justifient l'investissement initial nécessaire à la mise en place de cette technologie. Le soutien financier du gouvernement, combiné à des partenariats public-privé, est essentiel pour assurer la pérennité de cette solution.

Les objectifs fixés au début de cette recherche ont été atteints de manière satisfaisante. Nous avons :

- **Optimisé l'efficacité de la collecte des déchets:** L'utilisation de capteurs IoT a permis d'automatiser le suivi du niveau de remplissage, réduisant ainsi les coûts et les impacts environnementaux.
- **Amélioré la santé publique:** En réduisant les risques associés à l'accumulation de déchets, notre solution contribue à un environnement plus sain.
- **Facilité l'accès aux données en temps réel:** Les autorités locales peuvent désormais prendre des décisions éclairées sur la gestion des infrastructures de déchets, grâce aux données fournies par le système IoT.
- **Proposé une solution autonome et durable:** En intégrant des sources d'énergie renouvelable, notre modèle s'adapte aux coupures d'électricité fréquentes dans la région.

5 CONCLUSION

En conclusion, l'intégration de l'Internet des Objets dans la gestion des déchets à Lubumbashi représente une avancée significative vers une ville plus intelligente et durable. Cette recherche a mis en lumière l'impact positif de l'IoT sur l'optimisation des processus de gestion des déchets, la sensibilisation des citoyens, et l'amélioration des conditions de vie en milieu urbain.

Les résultats obtenus démontrent non seulement la faisabilité technique de la solution, mais également son potentiel à transformer la gestion des déchets dans d'autres villes de la RDC et au-delà. Nous espérons que cette étude servira de modèle pour d'autres initiatives similaires et incitera les décideurs à adopter des technologies innovantes pour résoudre des problèmes critiques, tels que la gestion des déchets, qui affectent tant la santé publique que l'environnement.

Les résultats de cette étude laissent entrevoir des développements possibles pour l'avenir :

1. Renforcement des technologies de détection: Pour plus de fiabilité, des capteurs robustes et des panneaux solaires de grande capacité seront à envisager, garantissant ainsi la durabilité du système dans divers environnements.
2. Déploiement dans d'autres villes de la RDC: Après les résultats encourageants à Lubumbashi, un élargissement de ce modèle de gestion pourrait être envisagé dans d'autres villes comme Kinshasa, Kisangani, Kikwit et voire toute la RDC.
3. Ajouter le Tri de déchets automatique: L'intégration d'un système de tri automatique des déchets au sein des poubelles intelligentes pourrait également améliorer l'efficacité de la gestion des déchets. Grâce à des capteurs capables de différencier les types de matériaux (plastique, verre, papier, etc.), ce système permettrait un tri à la source, réduisant ainsi la contamination des recyclables et augmentant le taux de recyclage.
4. Intégration d'une dimension prédictive avec l'IA: Intégrer l'intelligence artificielle pour anticiper les niveaux de remplissage et identifier les besoins de maintenance contribuerait à une meilleure réactivité et une optimisation continue des ressources. L'IA pourrait également analyser les données collectées pour prévoir les tendances de production de déchets en fonction des événements locaux, des saisons, et d'autres facteurs socio-économiques, permettant ainsi d'adapter les stratégies de collecte en conséquence. En outre, grâce à l'analyse des données historiques et des modèles de production de déchets, il serait possible de prédire les coins les plus sales de chaque ville de la RDC et d'identifier la ville la plus sale selon les taux de production de déchets mensuels ou journaliers. Cela aiderait non seulement à cibler les interventions de nettoyage de manière proactive, mais aussi à optimiser le déploiement des ressources en fonction des besoins spécifiques de chaque zone, améliorant ainsi l'efficacité de la gestion des déchets dans l'ensemble du pays.
5. Renforcement de l'éducation et sensibilisation des citoyens: En parallèle des développements technologiques, il est crucial de renforcer les programmes de sensibilisation auprès des citoyens. Des campagnes d'éducation sur l'importance du tri des déchets et de la gestion responsable des ressources doivent être mises en place pour accompagner l'introduction de nouvelles technologies. L'utilisation d'applications mobiles et de plateformes interactives peut aider à engager la communauté et à promouvoir une culture de durabilité.

REFERENCES

- [1] P. Magali, Les déchets ménagers entre privé et public : approches sociologiques., Harmattan. Paris, 2002.
- [2] L. E. Nkenku, « La gestion et la gouvernance des déchets dans la ville-province de Kinshasa. », Mémoire de fin de cycle, Université de Kinshasa., 2006.
- [3] T. NTENDAYI, « ASSAINISSEMENT : LES DECHETS TUENT EN RDC », Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD). Consulté le: 29 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://medd.gouv.cd/assainissement-les-dechets-tuent-en-rdc/>.
- [4] V. Simbu *et al.*, « ETUDE DE LA GESTION ACTUELLE DES DECHETS URBAINS A KINSHASA PAR OBSERVATION LE LONG DE L'AVENUE UNIVERSIT », vol. 4, 2022, [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-03565511v4>.
- [5] G. Ajabu Mastaki et N. Anaclet, « LA RECONNAISSANCE ET LA GARANTIE CONSTITUTIONNELLE DU DROIT A L'ENVIRONNEMENT EN RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO », *Beijing Law Rev.*, vol. 14, n° 4, Art. n° 4, déc. 2023.
- [6] A. V. Simbu *et al.*, « ETUDE DE LA GESTION ACTUELLE DES DECHETS URBAINS A KINSHASA PAR OBSERVATION LE LONG DE L'AVENUE UNIVERSITE », *Environ. Ingénierie Dév.*, vol. 88, 2022, Consulté le: 29 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://eid.episciences.org/10310/pdf>.
- [7] Mediacongo, « Lubumbashi : la gestion des plastiques, un vrai problème », 6 juin 2023. Consulté le: 21 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.mediacongo.net/article-actualite-122865_lubumbashi_la_gestion_des_plastiques_un_vrai_probleme.
- [8] K. Pardini, J. J. P. C. Rodrigues, S. A. Kozlov, N. Kumar, et V. Furtado, « IoT-based solid waste management solutions: a survey », *J. Sens. Actuator Netw.*, vol. 8, n° 1, Art. n° 1, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/jsan8010005>.
- [9] J.-P. Lamy, « SysML, un langage modèle », *J. Technol.*, vol. 179, p. 32-48, 2012.
- [10] G. Finance, « Modélisation SysML ». UMLchannel, 2010. Consulté le: 24 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://umlchannel.com/docs/Article%20Mod%C3%A9lisation%20SysML.pdf>
- [11] J.-M. Balet, *Gestion des déchets*. Dunod, 2016.
- [12] D. M. Libwa, J. C. T. Shamba, G. K. Milembu, J. I. Mfutu, J. C. P. Usandili, et N. Katolo, « Problématique de collecte et de gestion des déchets dans la ville de Kananga: Impact sur la sécurité environnementale/KASAI CENTRAL-RDC », *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 21, n° 1, p. 37, 2017.

Facteurs et incidences des tensions foncières dans la problématique de l'urbanisation rapide à adzope (sud de la Côte d'Ivoire)

[Factors and impacts of land tensions in the problem of rapid urbanization in adzope (south of Ivory Coast)]

Koulotiolma Issa Soro¹, Konan Norbert Koffi², Akissi Lurette Edith Yao³, and Narcisse Bonaventure Assi-Kaudjhis⁴

¹Assistant, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

²Maitre-Assistant, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

³Doctorante, Université Alassane Ouattara, ouaké, Côte d'Ivoire

⁴Professeur Titulaire, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 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 manifestations of land tensions in Ivorian cities in general and especially in Adzopé in the face of rapid urbanization are observed in different forms and generate many problems. This study aims to show the link between urban sprawl and land tensions in the city of Adzopé. In the data collection two (2) methods were used to gather all the information necessary for this study. These include secondary sources and primary sources. Secondary sources have provided access to general and specific documents dealing with land tensions in general. All this data was then obtained by using the techniques of collecting primary sources consisting of participant observation and field survey. The study shows that 78.3% of the population surveyed were faced with a land dispute, compared to 21.7% who were not victims of land conflicts in Adzopé. At the level of land policy, ignorance of the land code is the main factor with 53.3% of households surveyed. In addition, the factor of anarchic housing developments within the city of Adzopé is very important with 37.9%. Also, at the level of economic factors, it appears that in Adzopé the cost of land is high and varies between 1,500,000 to 2,000,000 FCFA is estimated at 33.3%.

KEYWORDS: City of Adzopé, urban sprawl, land management, explanatory factors, land impacts.

RESUME: Les manifestations des tensions foncières dans les villes ivoiriennes en général et en particulier à Adzopé face à l'urbanisation rapide s'observent sur différentes formes et engendrent de nombreux problèmes. Cette étude vise à montrer le lien entre l'étalement urbain et les tensions foncières dans la ville d'Adzopé. Au niveau de la collecte des données deux (2) méthodes ont été utilisées pour réunir toutes les informations nécessaires à la réalisation de cette présente étude. Ce sont entre autres les sources secondaires et les sources primaires. Les sources secondaires ont permis d'avoir accès aux documents généraux et spécifiques qui traitent des tensions foncières en général. Ensuite, toutes ces données ont été obtenues grâce aux techniques de collecte des sources primaires constituées d'observation participante et d'enquête de terrains. Il ressort de l'étude que 78,3 % de la population enquêtée ont été confrontées à un litige foncier contre 21,7% non victimes de conflits fonciers à Adzopé. Au niveau de la politique foncière, la méconnaissance du code foncier est le principal facteur avec 53,3% des ménages enquêtées. En plus, le facteur de lotissements anarchiques au sein de la ville d'Adzopé compte beaucoup avec 37,9%. Aussi, au niveau des facteurs économiques, il ressort qu'à Adzopé le coût des terrains est élevé et varie entre 1.500.000 à 2.000.000 FCFA est estimé à 33,3%.

MOTS-CLEFS: Ville d'Adzopé, étalement urbain, gestion foncière, facteurs explicatifs, incidences foncières.

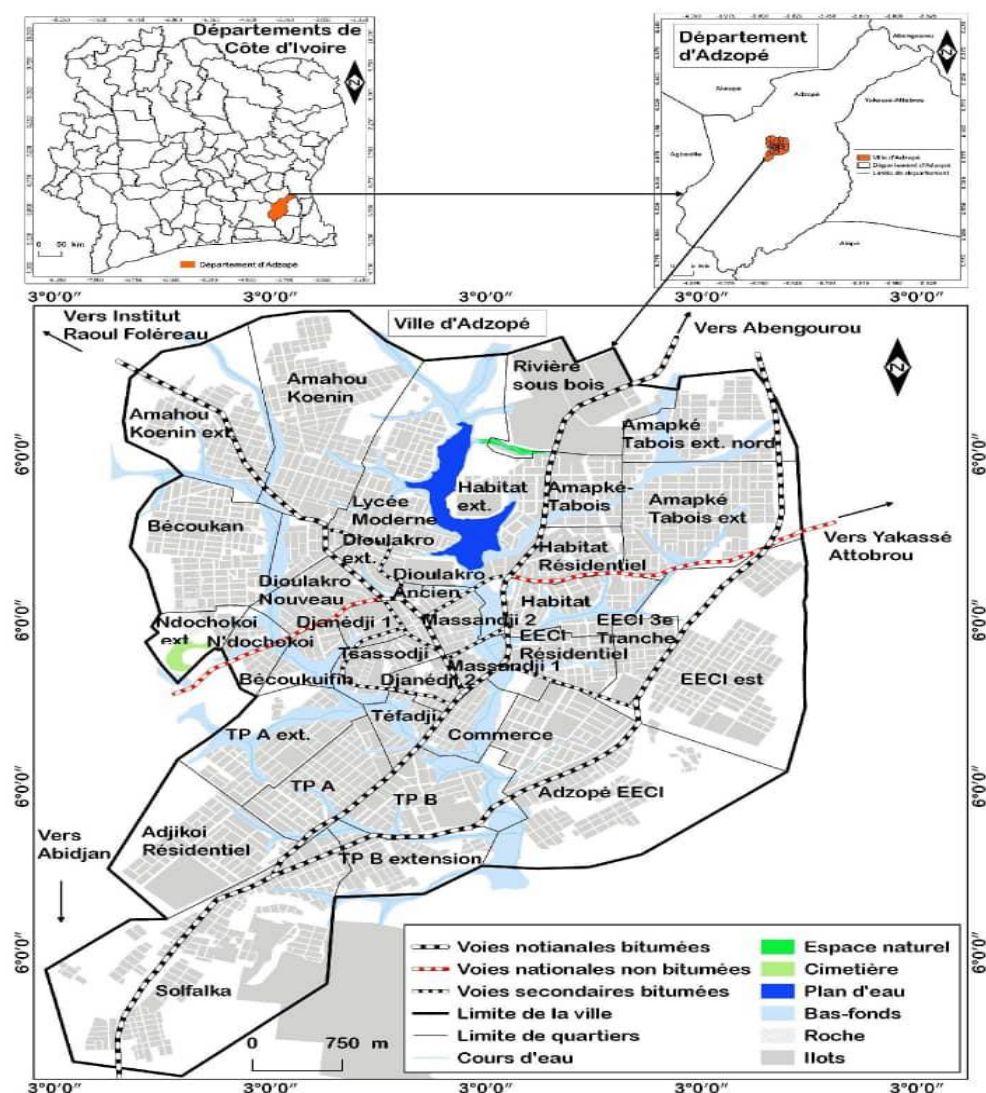
1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire, à l'instar de la majorité des pays du Tiers-Monde, subit le phénomène d'urbanisation galopante, depuis son accession à la souveraineté nationale. En effet, les villes ivoiriennes connaissent une rapide croissance urbaine. Dans ce pays, le croît urbain est passé de 17,7% en 1960 à 51,6% en 2018, puis à 52,5% en 2021 (INS, 2021). La population urbaine est passée successivement de 3.005.000 habitants en 1950 à 3.865.000 habitants en 1960; puis de 15.366.672 habitants en 1985, celle-ci est passée à 19.800.000 habitants en 2007 (INS, 1998; Ministère du plan, 2007). La population urbaine de la Côte d'Ivoire qui était estimée à 22.671.331 habitants en 2014 a atteint aujourd'hui 29.389.150 habitants en 2021 (INS, 2021). Ainsi, cette forte croissance démographique urbaine s'accompagne d'une dynamique spatiale soutenue amplifiée par la position géographique de la ville. En effet, Adzopé occupe une position géographique centrale dans son département, ce qui donne un accès facile à la ville. Cette dynamique spatiale est matérialisée par la multiplication des lotissements qui modifient la configuration urbaine. En 1986, seulement 650 hectares de l'espace étaient urbanisés. En 2005, l'emprise des taches urbaines est passée à 1.338,07 hectares (G. A. YASSI, 2006, p. 45 [1]), puis à 2.043 hectares, pour atteindre 5.400 hectares en 2021 (INS, 2021). Cet étalement urbain se fait par la densification des territoires situés, de plus en plus loin du centre-ville et de la réduction de l'espace périurbain. Cette dynamique spatio-démographique et l'extension des équipements urbains, de même que les infrastructures économiques et sociales ont exercé une pression sur les espaces périphériques. Par conséquent, cette rapide urbanisation s'illustre par divers corollaires, parmi lesquels s'observent la délinquance juvénile, les déficits d'assainissement et de mobilité urbains et surtout le manque criant de logement. Le logement est devenu le souci majeur des populations ce qui va entraîner la création des quartiers individuels spontanés, des quartiers précaires à la périphérie des villes (H. P. A. C. DOH, 2014, p.16 [2]). Ce qui est à l'origine de la multiplication des litiges fonciers au sein des villes. En d'autres termes, la recherche de terre ou de parcelles par la population urbaine, afin de se construire un toit décent d'une part et d'autre part pratiquer l'agriculture urbaine favorisera des problèmes fonciers entre les acteurs de la gestion foncière.

Dès lors, comment l'étalement urbain engendre-t-il la multiplicité des tensions foncières à Adzopé ? En d'autres termes, quelles sont les caractéristiques de la dynamique spatiale de la ville d'Adzopé ? Comment se manifestent les problèmes fonciers qui découlent de la croissance urbaine à Adzopé ? Et quelles sont les stratégies de résilience des acteurs locaux, face à la récurrence des problèmes fonciers ? La présente étude vise à montrer le lien entre l'étalement urbain et les tensions foncières dans la ville d'Adzopé. A cet effet, elle identifie d'abord facteurs explicatifs des tensions foncières. Ensuite, celle-ci analyse les impacts de ces problèmes fonciers. Enfin, elle examine les stratégies de résilience des acteurs locaux, face à la récurrence problèmes fonciers... L'hypothèse de l'étude stipule que la croissance urbaine à Adzopé engendre une multiplicité des tensions foncières favorisant l'inefficacité de la gestion foncière.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

La collecte des données dans la réalisation de cette étude a suscité le recours à deux (2) méthodes, afin de disposer d'informations nécessaires. Ce sont entre autres les sources secondaires et les sources primaires. Les sources secondaires ont permis d'avoir accès à plusieurs types de documents. Il est important de citer les documents généraux et documents spécifiques qui traitent de l'urbanisation en général. Aussi, des travaux de recherche se rapportant à la dynamique spatiale et démographique ont-ils été effectués. Les documents techniques et spécialisés dont les magazines, documents d'orientation, les textes de lois et décrets d'application, revues, des articles de journaux ont donné des informations sur des tensions foncières et les typologies des litiges fonciers. Aussi, la recherche s'est-elle faite grâce aux documents de la Mairie d'Adzopé, l'Institut National de la Statistiques (INS), le BNETD, le Ministère de la construction, du logement et de l'urbanisme (MUCL). Elles ont permis d'avoir des informations sur la gestion foncière au sien de la ville d'Adzopé. Ces données portent sur l'étalement spatial, la démographie, les mutations de l'espace, les tensions foncières, les différents recensements et les cartes de lotissements de la ville. Ensuite, des données ont été obtenues grâce aux sources primaires constituées d'observation participante et d'enquête de terrains. En plus, les entretiens se sont déroulés avec les différents chefs de quartiers, les chefs coutumiers, aussi auprès des services administratifs, techniques de la mairie d'Adzopé, du Ministère de la construction et de l'urbanisme et quelques responsables de services publics et le procureur de la république près de la section de Tribunal d'Adzopé. Avec cette technique, un récapitulatif des tensions foncières causées par l'étalement urbain a été élaboré. Le questionnaire a eu pour cible les chefs de ménages de la ville d'Adzopé. Il vise à analyser la dynamique spatiale, démographique et les différents litiges fonciers observés dans la ville d'Adzopé. C'est donc un échantillon représentatif du nombre de ménages à enquêter équivalent à 418 soit un minimum de 5 ménages par quartier. Le choix raisonné a été utilisé, afin de définir l'échantillon des personnes à enquêter. Une visite de terrain a permis d'observer le cadre de vie de la population. La carte 1 ci-dessous en est l'illustration.



Carte 1: La localisation de la ville d'Adzopé

Source: CADASTRE d'Adzopé, 2024 Réalisation: K. I. SORO, 2024

Cette étude a été effectuée dans la ville d'Adzopé. En effet, la ville d'Adzopé est située au Sud de la Côte d'Ivoire, dans la région de la Mé, à environ 96 kilomètres d'Abidjan, la capitale économique. Elle est limitée au Nord par la ville d'Akoupé et d'Abengourou, au Sud par la ville d'Alépé, à l'Est par la ville de Yakassé-Attobrou et à l'Ouest par la ville d'Agboville. Elle occupe une superficie d'environ 5.190 km² (INS, 2014). De plus, cette étude a porté sur la modalité d'accès au lot, les étapes d'acquisition d'un lot dans le cas de l'achat, les caractéristiques des lots, le coût des terrains. Elle a permis d'analyser les facteurs, les conséquences et les stratégies adoptées par les acteurs locaux afin de résoudre les tensions foncières. Les outils utilisés pour collecter les données sont le GPS, nécessaire à la localisation de la ville d'Adzopé et des forêts classées, l'appareil de photos numériques a été utile dans les prises de vues. En outre, l'internet a été exploité pour la webographie, l'imagerie satellitaire Landsat et les logiciels Word, Excel, Sphinx et ArcGIS 10.8 ont favorisé le dépouillement, la réalisation des graphiques et des cartes.

3 RÉSULTATS

Les résultats de cette étude sont structurés en trois parties. La première identifie les facteurs explicatifs des litiges fonciers au sein de la ville d'Adzopé, la deuxième analyse la manifestation des litiges fonciers à Adzopé et quant à la troisième partie, elle examine les stratégies de résilience, face à la récurrence des tensions foncières à Adzopé.

3.1 UNE DIVERSITE DE FACTEURS EXPLICATIFS DES LITIGES FONCIERS DANS LA VILLE D'ADZOPE

Plusieurs facteurs sont à l'origine des litiges fonciers au sein de la ville d'Adzopé. Ainsi, la méconnaissance de la politique foncière par les populations, le non-respect des circuits d'implantation des lotissements et les coûts élevés des terrains sont les principaux facteurs déclencheurs de ces litiges.

3.1.1 LES FACTEURS LIES À LA POLITIQUE FONCIERE AU SEIN DE LA VILLE D'ADZOPE

Les facteurs liés à la politique foncière sont principalement axés sur la méconnaissance du code foncier. Celle-ci est attestée par la figure 1.

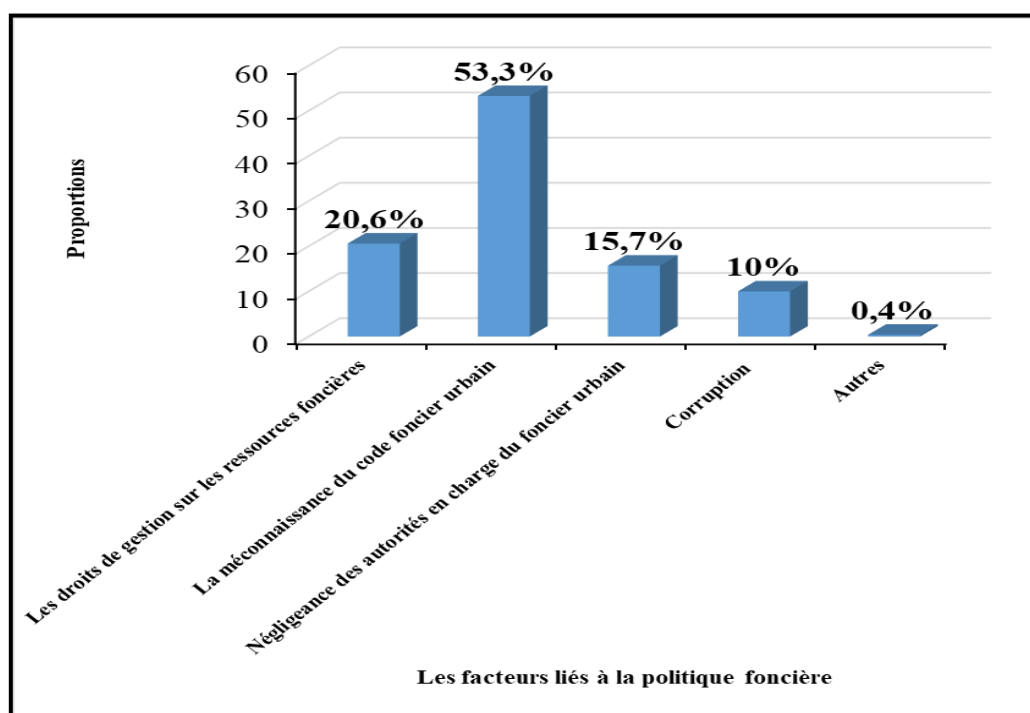


Fig. 1. La répartition des différents facteurs liés à la politique foncière à Adzopé

Source: Enquêtes personnelles, 2024

Il ressort de la figure 1 que la plupart des litiges fonciers qui se sont déroulés au sein de la ville d'Adzopé, ont été causés par la méconnaissance du code foncier avec 53,3%. Ensuite, 20,6% des cas de litiges fonciers ont été causés par l'ignorance des droits de gestion des ressources foncières. Par la suite, 15,7% des cas de litiges fonciers ont eu lieu à cause de la négligence des autorités en charge du foncier urbain. Enfin, la corruption (10%) est considérée comme la dernière cause des différents cas de litiges fonciers. Ces raisons se justifient par le fait de l'analphabétisme des populations (15,70%), le non-respect de la réglementation foncière coloniale dans laquelle le colon était le seul propriétaire de la terre et la négligence de la constitution des documents administratifs qui sont liés au nouveau terrain car ne percevant pas l'importance de l'établissement de l'ACD pour des terrains nus ou déjà construits et habités.

3.1.2 LE NON-RESPECT DU CIRCUIT D'IMPLANTATION DES LOTISSEMENTS, SOURCE DE LITIGES FONCIERS À ADZOPE

Au sein de la ville d'Adzopé, la production des lots est du ressort des acteurs du foncier tels que les propriétaires terriens et les aménageurs fonciers. En fonction des demandes, sollicitations, intérêts ou besoins familiaux, ces différents acteurs fonciers initient des opérations de lotissement. Cependant, le lotissement suit un circuit bien déterminé. C'est ce qui s'observe à travers la figure 2.



Fig. 2. Circuit d'implantation d'un lotissement à Adzopé

Source: MCUL d'Adzopé, 2024

Cette figure révèle que le circuit d'implantation d'un lotissement à Adzopé comprend différentes étapes. Ce sont le besoin d'espace de la population, la demande de lotissement de la collectivité, l'étude par un bureau d'étude, l'Appropriation (MCUH), le bornage (Géomètre) et l'attribution à la population. Ainsi, il est important de souligner que la plupart des propriétaires terriens ou aménageurs fonciers réalisent des lotissements sans respecter ces différentes étapes. A cet effet, le lotissement qui ne suit pas la procédure administrative légale vise uniquement à enrichir le propriétaire terrien, après la vente des lots. Cependant, cette situation amène propriétaires terriens ou aménageurs fonciers à lotir et vendre leurs différents lots sans titres fonciers.

3.1.3 LE COUT ÉLEVÉ DES TERRAINS, UN FACTEUR DÉCLENCHÉUR DE LITIGES FONCIERS À ADZOPE

Le coût du terrain est un élément déclencheur des litiges fonciers. Depuis les indépendances jusqu'à nos jours, le coût du terrain n'a cessé d'augmenter. C'est ce qui rend l'accès à la terre par achat difficile pour les populations qui vivent avec un revenu moyen. Comme en témoigne la figure 3.

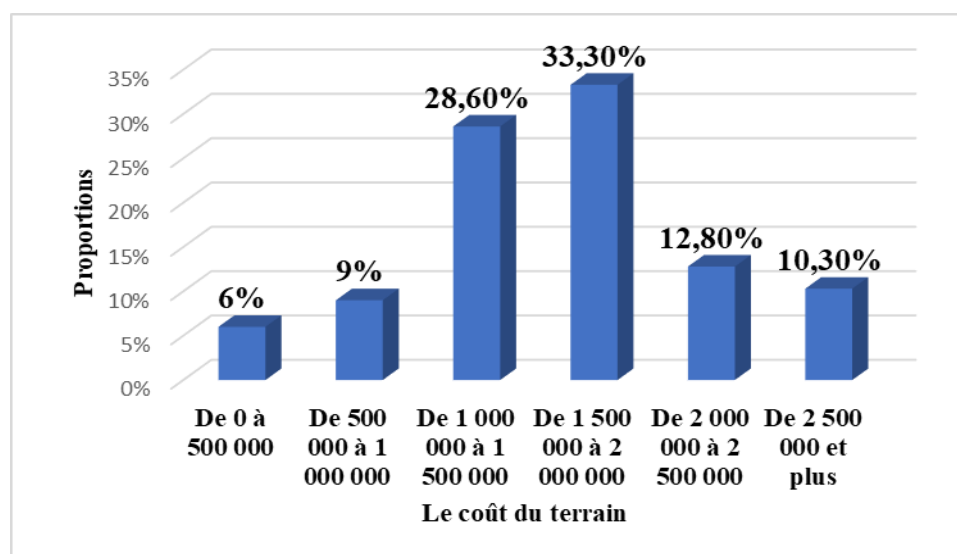


Fig. 3. La répartition du coût du terrain à Adzopé

Source: Enquêtes personnelles, 2024

La figure 3 illustre qu'à Adzopé, le coût des terrains varie entre 1.500.000 FCFA et 2.000.000 FCFA est de 33,3%, suivi de 1.000.000 à 1.500.000 estimé à 28,6%. Les terrains qui coûtent entre 2.000.000 à 2.500.000 FCFA représentent 12,8%. En outre, le prix des terrains de 2.500.000 et plus ont un pourcentage de 10,3%. Aussi, le prix des terrains variant entre 500.000 et 1.000.000 Francs CFA ont un pourcentage de 9%. Enfin, ceux qui ont un prix qui varie de 0 à 500 000 ont un pourcentage de 6%. Le prix des terrains varie selon les quartiers. En d'autres termes, le prix d'un terrain augmente d'un quartier évolutif à un quartier résidentiel. En effet, les terrains qui ont des coûts élevés sont situés au sein des quartiers bien viabilisés et lotis. Par contre, les terrains à faible coût c'est-à-dire compris entre 0 à 500 000 Francs CFA sont situés au sein des quartiers non viabilisés et la population a un revenu moyen ou faible. Cette tranche de la population pauvre ne peut pas s'offrir des terrains à des coûts excessifs (Carte n°2).

Les coûts des différents terrains à Adzopé sont à la base de plusieurs litiges fonciers puisque cette situation amène les propriétaires terriens à revendre les terrains non mis en valeur après deux ou trois ans. Il ressort de l’enquête que 63% d’acquéreurs de terrains ont rencontré des difficultés financières pour construire sur ces terrains, du fait du coût élevé de ceux-ci. Ainsi, le nombre de litiges liés à cette situation n’a cessé de s’augmenter. Le tableau 1 présente le nombre de plaintes des populations enregistrées à la justice entre 2019 et 2023 selon l’enquête.

Tableau 1. L’évolution du pourcentage de plaintes liées aux litiges fonciers de 2019 à 2023

Années	Plaintes liées aux litiges fonciers	Pourcentages
2019	27	14
2020	52	26,94
2021	49	25,39
2022	28	14,50
2023	37	19,17
Total	193	100

Source: Nos enquêtes, La cour de justice d’Adzopé, 2023

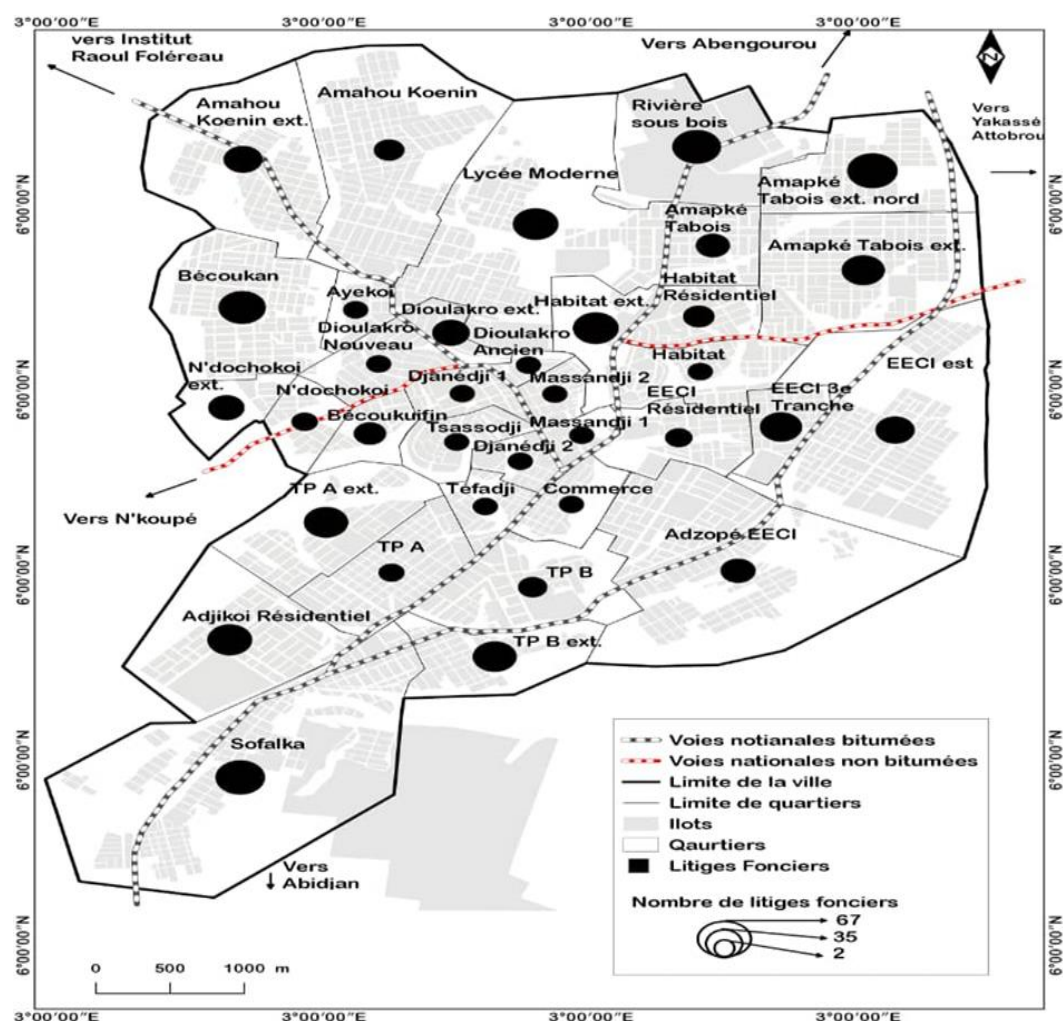
Selon les informations recueillies à la cour de justice d’Adzopé, le nombre de plaintes et leurs pourcentages sont importants. Ainsi, si celles-ci sont passées de 27 à 52, le nombre a commencé à diminuer jusqu’en 2023 (37 plaintes). La chute de ces plaintes à partir de 2021 est liée à la politique de sensibilisation des populations par l’Etat quant à l’importance de l’acquisition de l’ACD. Sur cette période (2019-2023), l’on a enregistré au total 193 plaintes liées aux coûts élevés des terrains. Cependant, l’enquête a montré que plus de 65% de ménages cherchent à résoudre leurs litiges fonciers au niveau de leur famille.

3.2 LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES, FINANCIERES ET ENVIRONNEMENTALES DES LITIGES FONCIERS À ADZOPE

Vu le nombre croissant des litiges fonciers dans la ville d’Adzopé, ceux-ci ont un réel impact sur l’espace habité par les populations.

3.2.1 UNE CROISSANCE AVEREE DE LITIGES FONCIERS AU SEIN DES DIFFERENTS QUARTIERS DE LA VILLE D’ADZOPE

Il existe la plupart du temps un ou plusieurs cas de litiges fonciers dans les quartiers de la ville d’Adzopé. La carte 2 montre les volumes et le nombre de litiges fonciers de la ville d’Adzopé.



Carte 2: La répartition des cas de litiges fonciers de la ville d'Adzopé

Source: CADASTRE d'Adzopé, 2024 Réalisation: K. N. KOFFI, 2024

À partir de l'observation de la carte 2, il existe des zones où les litiges fonciers ont une fréquence moyenne. Ce sont les quartiers tels que le Lycée Moderne, Amahou Koenin, Dioulakro Nouveau et autres. Ces différents cas de litiges fonciers sont compris entre 15 et 30 par quartier. Les zones où se déroulent plus de litiges fonciers sont les nouveaux quartiers qui se situent à la périphérie tels que Sofalka, TPA Extension, EECI Est, N'Dochokoi Extension, Amakpé Tabois Extension Nord, Bekoukan et autres. Il ressort de l'enquête que c'est au quartier Amakpé Tabois Extension Nord qu'il y a plus de cas de litiges fonciers par rapport aux autres quartiers. En outre, c'est au sein du quartier Commerce et Ayekoi que l'on rencontre moins de cas de litiges fonciers. Les raisons liées à l'ampleur des litiges à Amakpé Tabois Extension Nord sont entre autres la méconnaissance du code foncier avec 53,3%, l'ignorance des droits de gestions sur les ressources foncières (20,6%), la négligence des autorités en charge du foncier urbain (15,7%) et la corruption (10%).

3.2.2 LES IMPACTS ÉCONOMIQUES DES LITIGES FONCIERS DE LA VILLE D'ADZOPE

Les incidences des tensions foncières urbaines à Adzopé s'observent au niveau économique, à travers la transaction frauduleuse, la spéculation foncière et la destruction des vivres. La figure 4 constitue une illustration.

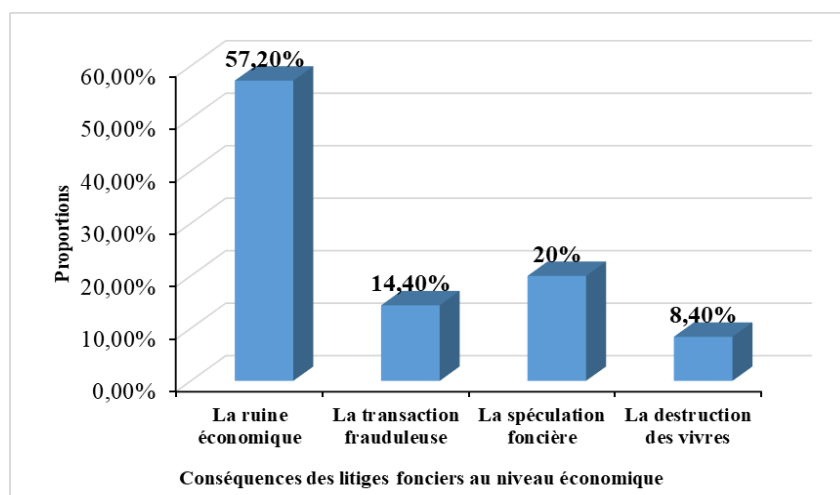


Fig. 4. La répartition des conséquences économiques des litiges fonciers à Adzopé

Source: Enquêtes personnelles, 2024

Selon la figure 4, la principale conséquence des litiges fonciers au plan économique est la ruine économique avec 57,2%. Cette situation entraîne l'appauvrissement des populations en général et met certains acquéreurs en particulier dans une situation financière difficile. Les conséquences des litiges fonciers au niveau économique ont entraîné beaucoup de désagréments financiers dans la vie de plusieurs personnes.

En plus, la transaction frauduleuse (14,40%) se justifie au niveau des arnaques dont les acquéreurs sont la plupart du temps victimes pendant l'achat de leur terrain. On peut citer comme conséquence, la perte de sa terre. Par contre, ce sont les propriétaires terriens et les intermédiaires ou les démarcheurs qui tirent un profit considérable au niveau financier de ces transactions foncières. Ils s'enrichissent de façon frauduleuse en utilisant la mauvaise foi et l'arnaque.

Enfin, il est important de rappeler que l'activité agricole urbaine (8,40%), essentiellement basée sur les cultures vivrières et maraîchères est désorganisée. Mais selon les différentes enquêtes effectuées, il ressort que ces cultures vivrières et maraîchères subissent une régression dans l'espace intra-urbain. Elles sont cultivées à la périphérie de la ville d'Adzopé ou dans des villages environnants. Comme l'atteste la photo 1.



Photo 1: la destruction d'un champ de manioc au profit du bâti au quartier Sofalca

Prise de vue: A. L. E. YAO, 2024

Cette photo montre la destruction d'un champ de manioc au profit de la construction de l'habitat. En effet, l'étalement urbaine a causé la réduction des terres agricoles au profit du bâti. Cette situation a engendré la régression de l'activité agricole au sein des quartiers centraux et péri-centraux. Actuellement, l'agrandissement de la ville amène les agriculteurs à pratiquer l'activité agricole aux alentours

de la ville d'Adzopé. La destruction des vivres au profit de la construction d'habitations a eu pour conséquence la réduction des terres agricoles, la perte des activités agricoles et la cherté de la vie.

3.2.3 LA CHERTE DES DENRÉES ALIMENTAIRES: UNE INCIDENCE SOCIALE MAJEURE DES LITIGES FONCIERS DE LA VILLE D'ADZOPÉ

Les conséquences foncières au niveau social à Adzopé s'observent au niveau du difficile accès des populations aux denrées alimentaires dont les prix ne cessent de flamber. C'est ce qu'atteste la figure 5.

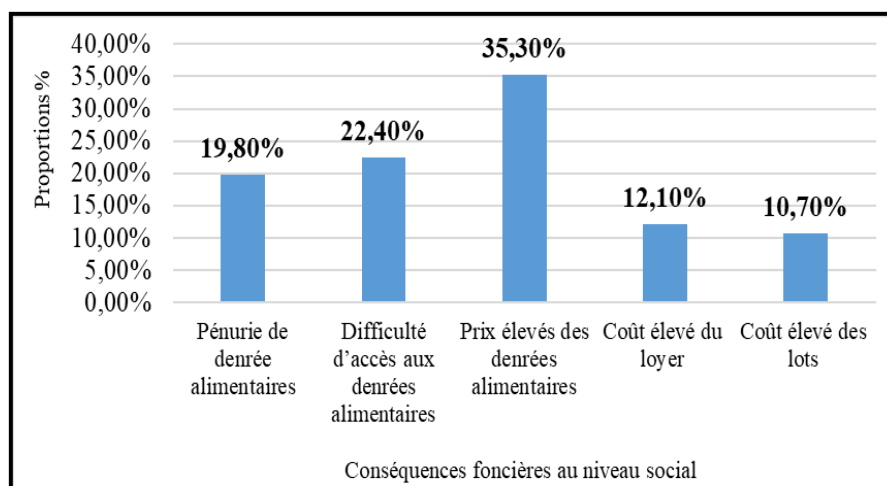


Fig. 5. Les différentes conséquences foncières au niveau social à Adzopé

Source: Enquêtes personnelles, 2024

À partir de l'observation de la figure 5, il ressort que les incidences foncières au niveau social au sein de la ville d'Adzopé ont engendré les prix élevés des denrées alimentaires (35,3 %). De plus, les populations ont des difficultés au niveau de l'accès aux denrées alimentaires (22,4%). Par la suite, une pénurie de denrée alimentaire soit (19,8%) est observée dans la ville d'Adzopé. En outre, les incidences foncières au niveau social ont entraîné le coût élevé du loyer (12,1%) et des lots (10,7%).

En effet, le manque de terre cultivable entraîne les prix élevés des denrées alimentaires et la pénurie des denrées alimentaires. En ce sens que, les quartiers qui sont totalement lotis n'ont plus de terres cultivables. Ces cultivateurs sont dans l'obligation de pratiquer les travaux champêtres à la périphérie ou au sein des villages voisins. Ces cultivateurs vont louer les terres aux autres planteurs situés dans les villages environnants, afin de pratiquer l'agriculture. Vu, tous ces dépenses concernant la location de la terre pour la culture des denrées alimentaires et le transport ou l'acheminement de ces denrées vers les différents marchés de la ville d'Adzopé, les coûts de ces denrées ont flambé, afin que les cultivateurs disposent des fonds qu'ils ont investi dans leurs champs.

Aussi, la demande en logement augmente et cela fait que le coût des logements est élevé. Les propriétaires terriens ayant constaté qu'ils n'ont plus de terres cultivables au sein des quartiers centraux et péri-centraux, se sentent obligés d'augmenter le coût des maisons en location ou le coût du lot qu'ils ont en leur possession. Cela leur permet d'avoir un revenu moyen et de vivre décemment sans se soucier de la perte de leurs plantations qui ont été détruites et remplacés par des bâtis.

3.2.4 UN HABITAT INAPPROPRIÉ CAUSE PAR LA MULTIPLICATION DES LOTISSEMENTS

La population d'Adzopé croît rapidement. Il est important de rappeler qu'elle est estimée 80.091 habitants (INS, 2021). Ainsi, cette population exerce une pression sur l'espace et cause des problèmes de logement d'où la multiplication des lotissements. Par ailleurs, ces lotissements se sont aussi opérés sur l'espace situé en bordure de la rivière Massan comme l'illustre la photo 2.



Photo 2: Des maisons construites à lisière de la rivière "Massan"

Prise de vue: A. L. E. YAO, 2024

À partir de l'observation de la photo 2, il se dégage des maisons qui sont construites en bordure de la rivière Massan. L'ensemble des maisons construites de manière anarchique constitue un quartier aujourd'hui. Ce quartier est prisé pour être habité, du fait des coûts de loyers qui sont abordables ou accessibles malgré la hausse due à la forte demande. Après ces lotissements, des habitations ont été construites en violation des servitudes d'urbanisme. Les habitations devaient respecter une distance de 50 mètres entre la rivière "Massan" et les derniers lots l'attestent. Cette situation constitue un crucial problème environnemental.

Ainsi, au sein des cours communes ruissellent les eaux des puits perdus ou fosses septiques. Cette situation environnementale est désastreuse et entraîne la dégradation de l'environnement telles que la pollution de l'air du sol et de l'eau. A cela s'ajoute l'insalubrité des toilettes publiques et collectives et cela fait que les populations de ces quartiers vivent dans les mauvaises conditions d'hygiène. En effet, il existe une présence de mouches, de nids des moustiques, de bactéries, de rongeurs, d'insectes au sein des habitats et aux alentours. Quant aux odeurs perfides et nauséabondes, elles partagent la vie quotidiennement des populations. En saison pluvieuse, l'insalubrité est généralisée car on observe la décomposition des déchets solides et cela fait peser des graves menaces sur la qualité de la vie.

3.3 DIVERSES STRATEGIES DE RESILIENCE ADOPTÉES, FACE À LA RECURRENCE DES TENSIONS FONCIÈRES À ADZOPE.

Dans le règlement de différents litiges fonciers, plusieurs stratégies sont appliquées. Ainsi, les autorités coutumières, la justice et l'Etat, à travers l'application du plan directeur d'urbanisme sont utiles.

3.3.1 UNE PLURALITE DE REGLEMENTS DE LITIGES FONCIERS DES AUTORITES COUTUMIERES À ADZOPE

Les chefs de familles utilisent le plus souvent les mécanismes de prévention et de résolution des conflits tels que la négociation, la médiation, les alliances, le règlement à l'amiable et l'arbitrage qui sont un ensemble de moyens, de voies ou des modes permettant d'éviter ou de résoudre les litiges fonciers. C'est lorsque le médiateur, le négociateur ou l'arbitre n'arrivent pas à trouver un terrain d'entente entre les deux belligérants que le litige est soumis à la chefferie. La figure 6 montre la proportion des personnes ayant réglé leurs différents litiges fonciers à la cour de conciliation.

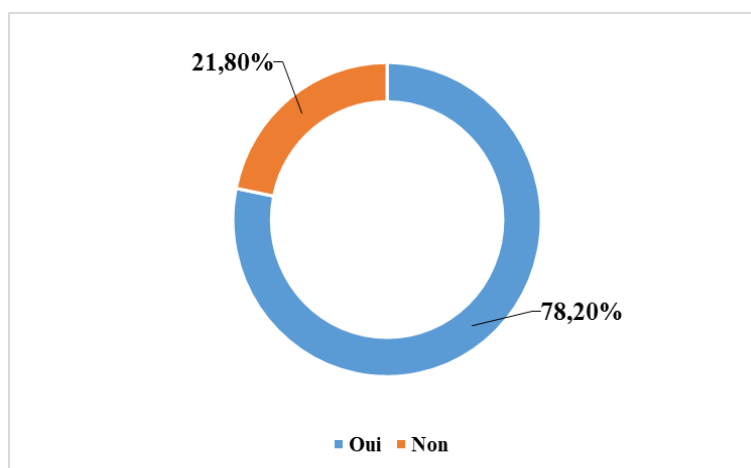


Fig. 6. La répartition des litiges fonciers urbains réglés à la cour de conciliation d'Adzopé

Source: Enquêtes personnelles, 2024

L'analyse de la figure 6 permet de constater que 78, 2% de personnes règlent leurs litiges fonciers à la cour de conciliation. Par contre, il existe 21,8% de personnes qui règlent leurs litiges fonciers soit à domicile, au ministère de la construction du logement et de l'urbanisme, à la Mairie, à la Préfecture de région, ou à la justice et autres. Cette situation s'explique par le fait que les accesseurs utilisent aussi le règlement informel qui facilite les négociations afin de régler les litiges fonciers urbains.

3.3.2 LA PLACE DE LA JUSTICE DANS LA GESTION DES TENSIONS FONCIERES À ADZOPE

Les personnes mécontentes du règlement des litiges par les autorités coutumières saisissent la justice, afin que justice soit faite. Au niveau de la justice, les litiges fonciers se résolvent par procédure judiciaire. La figure 7 montre les différentes étapes pour le règlement des litiges avant que le problème ne soit porté devant la justice.

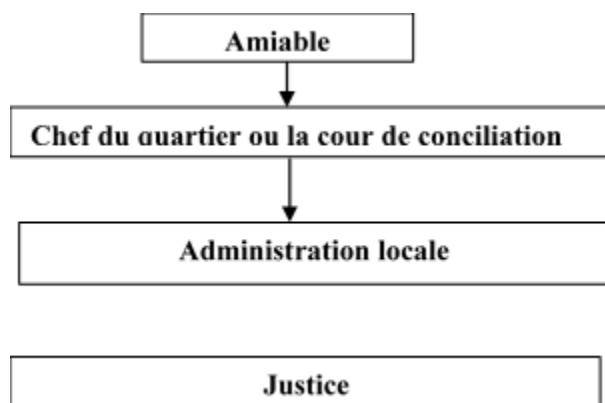


Fig. 7. l'organigramme des règlements de conflits

Source: Enquête personnelle, 2024.

Cette figure montre les lieux de règlements des litiges fonciers. Lorsque naît un litige foncier, le premier mode de règlement est à l'amiable chez le chef de quartier ou du village. Quand le problème n'est pas résolu; l'administration locale est saisie et enfin, la justice constitue la dernière étape ou le niveau supérieur pour le règlement des conflits.

3.3.3 LE RECOURS AU PLAN DIRECTEUR D'URBANISME, UNE STRATEGIE DE PLANIFICATION FONCIERE À ADZOPE

Le dernier plan directeur d'urbanisme de la ville d'Adzopé date de l'année 2016. Selon le Directeur régional de la Construction, du Logement et de l'Urbanisme, ce plan directeur d'urbanisme est en train d'être révisé, afin de prendre en compte les quartiers périphériques qui se trouvent dans les zones d'extensions, dans le but de mieux analyser les différents problèmes fonciers de la ville.

L'élaboration et la mise en œuvre du plan directeur d'urbanisme d'Adzopé met du temps avant d'être confectionné, à cause du manque des moyens financiers et de la franche collaboration de certains acteurs du foncier urbain.

4 DISCUSSION

4.1 LES FACTEURS EXPLICATIFS DES LITIGES FONCIERS À ADZOPE

Plusieurs facteurs sont à l'origine des litiges fonciers constatés dans le domaine du foncier urbain d'Adzopé. Concernant cette étude, il ressort que les litiges fonciers sont liés à des facteurs en rapport avec la politique foncière, le non-respect du circuit d'implantation des lotissements et le coût élevé des terrains à Adzopé. En effet, les facteurs liés à la politique foncière sont principalement axés sur la méconnaissance du code foncier avec 53,3%.

Ensuite, il ressort aussi de cette étude que le lotissement anarchique est aussi un facteur primordial qui engendre plusieurs litiges fonciers au sein de la ville d'Adzopé. Selon les données de l'enquête, on constate que la double attribution est la principale cause des litiges fonciers avec 37,90%. Elle consiste à attribuer un lot ou à vendre un lot à plusieurs personnes (acquéreur). Afin de donner des orientations sur les causes des lotissements anarchiques, A. J-P. KOUTOUA (2019, p. 169) [3], confirme que la multiplication des lotissements effectués aux alentours d'Abidjan étant le facteur principal d'étalement urbain, le lotissement est à l'origine de la conurbation urbaine que connaissent plusieurs villes du Grand Abidjan. Selon l'auteur, les lotissements sont souvent réalisés sans VRD. Aussi, la multiplication des sociétés immobilières privées en est l'une des véritables causes. Le coût des études de viabilisation étant très élevé, ces sociétés contournent les règles.

La présente étude confirme également le résultat selon lequel le coût du terrain est un élément déclencheur des litiges fonciers. Depuis les indépendances jusqu'à nos jours, le coût du terrain n'a cessé d'augmenter. C'est ce qui rend l'accès à la terre par achat difficile pour les populations qui vivent avec un revenu moyen. Ces résultats sont conformes à ceux de l'étude menée par K. K. E. LAMAN (2019, p. 88) [4]. Selon cet auteur, le coût de ces lots se négocie entre 1 500 000 et 15 000 000 FCFA et est en fonction de la localisation du lot et de ses dimensions au sein de la commune de Songon.

4.2 LES IMPACTS ÉCONOMIQUES ET SOCIO-ENVIRONNEMENTALES DES LITIGES FONCIERS À ADZOPE

Cette étude a révélé que ces différents facteurs ont causé des impacts sur la gestion foncière entraînant les litiges fonciers au sein de la ville d'Adzopé. En effet, les impacts des tensions foncières urbaines à Adzopé s'observent au niveau économique. Les populations sont parfois confrontées aux conséquences des litiges fonciers au plan économique. Il ressort que les principales conséquences des litiges fonciers au plan économique sont la ruine économique avec 57,2%, la spéculation foncière avec 20%, la transaction frauduleuse (14,4%) et 8,4% pour la destruction des vivres. Cette situation entraîne l'appauvrissement des populations en général et met certains acquéreurs en particulier dans une situation financière difficile. Les conséquences des litiges fonciers au niveau économique ont entraîné beaucoup de désagréments financiers dans la vie de plusieurs personnes. Ces résultats concordent avec ceux réalisés par A. J-C. OSSEPE (2018, p. 18) [5]. Selon cet auteur les litiges fonciers participent à l'appauvrissement des populations. En effet, il fait remarquer que des individus se font duper et perdent toute leur économie dans les transactions foncières au profit des propriétaires terriens qui s'enrichissent. Par contre, K. N. KOFFI (2020, p. 241) [6] dans son étude menée à Bouaké, a abordé le facteur économique autrement. Selon lui, la gouvernance foncière dans les villages communaux ne garantit pas la pérennité de l'activité économique. Elle favorise l'étalement urbain qui est à l'origine de la réduction drastique des surfaces cultivables dans ces zones et de la baisse du niveau de production agricole. De plus, celle-ci engendre la spéculation foncière qui intensifie le désintéressement à l'égard de l'emploi agricole jugé peu rentable. Ce rejet de l'activité agricole est causé par les lotissements d'exploitations agricoles en vue de tirer le maximum de profit de la valeur vénale de la terre.

4.3 LES STRATEGIES DE RESILIENCE DES ACTEURS LOCAUX, FACE À LA RECURRENCE DES TENSIONS FONCIERES À ADZOPE.

Il ressort qu'au sein de la ville d'Adzopé, 78, 2% de personnes règlent leurs litiges fonciers à la cour de conciliation. Par contre, 21,8% de personnes trouvent solution à domicile, au ministère de la construction du logement et de l'urbanisme, à la Mairie, à la Préfecture de région ou à la justice et autres. Cette situation s'explique par le fait que les accesseurs utilisent aussi le règlement informel qui facilite les négociations afin de régler les litiges fonciers urbains.

Ces résultats sont semblables à ceux de la Fédération Internationale pour les Droits Humains (2004, p. 11) [7]. En effet, la Fédération Internationale pour les Droits Humains affirme que les autorités coutumières utilisent le plus souvent les mécanismes de prévention et de résolution des conflits tels que la négociation, la médiation et les palabres qui sont un ensemble de moyens, de voies ou des modes permettant d'éviter ou de résoudre les litiges fonciers. En effet, les alliances interculturelles et les parentés à plaisanterie étaient des pactes conclus entre les peuples, des groupes ethniques, des familles ou lignages, des clans ou tribus pour la tolérance quotidienne à travers des contes et proverbes. Cela a favorisé la garantie et la stabilité sociale de tous les membres.

Dans la même sens, F. R. OUATTARA (2019, p. 75) [8] explique qu'au sein de la ville de Korhogo, le règlement des conflits entre les autorités et les propriétaires terriens liés au retrait des lots non mis en valeur depuis plusieurs années et à le réattribuer sans indemniser l'ancien propriétaire sont gérés avec moins de rigueur. Car pour des raisons sociales, les autorités coutumières et administratives unissent leurs forces pour trouver des lots aux anciens propriétaires à la périphérie de la ville.

Quant au Ministère d'Etat, Ministère du Plan et du Développement (2015, p. 42) [9], les rapports entre clans et groupes socioethniques dans le District sont codifiés principalement sur la base des alliances interethniques. En effet, dans un pays pluriethnique avec 60 ethnies, regroupées en 5 grandes aires culturelles (les Gur, les Akan, les Mandé du nord et du sud et les Krou), les ethnies sont soudées les unes aux autres par des liens de natures diverses. Ces liens ont permis aux peuples de cohabiter pacifiquement. Un pacte de non-agression et d'assistance mutuelle est ainsi signé entre certains peuples pour éviter les conflits.

Cependant, les résultats de Y. S. K. KOFFI (2005, p. 96) [10] vont au-delà de la simple perception du règlement des litiges fonciers à l'amiable ou en famille. Pour lui, ce mode de règlement est souvent utilisé par les populations, car celles-ci préfèrent éviter les autorités administratives à cause de la lenteur au niveau des différentes procédures de règlement des litiges. Ainsi, les autorités coutumières maîtrisent mieux l'histoire de la ville et de leurs terres. Le règlement à l'amiable est un règlement qui se fait sous l'autorité d'une personne morale, un chef religieux ou une intervention d'origine sociologique ou chef traditionnel.

Notre étude suggère également qu'au niveau de la justice, les litiges fonciers se résolvent par procédure judiciaire. En effet, lorsque naît un litige foncier, les personnes mécontentes déposent leurs plaintes à la justice afin de trouver solution. Ces résultats sont différents de ceux de B. T-A. DOHO et *al.*, (2020, p. 224) [11] à Divo. Selon ces auteurs, en cas d'échec de la conciliation avec les autorités traditionnelles et du règlement à l'amiable, ce sont les forces de l'ordre qui interviennent pour prévenir les conflits en faisant respecter l'ordre public dans le cas d'infractions pénales qui aboutissent à des coups et blessures. Ils sont des arbitres lors des conflits. Ils affirment que lorsqu'une plainte est enregistrée, la procédure exige qu'un constat soit effectué sur le terrain. C'est à l'issue de leur constat qu'un soit transmis est dressé au tribunal de Divo. Les parties en conflit se présentent au tribunal d'instance de leur ressort avec le procès-verbal de non-conciliation ou le soit transmis qu'établit les forces de l'ordre afin de poursuivre la procédure de résolution. L'affaire sera ensuite jugée par le tribunal d'instance. Si une partie se sent lésée par la décision de justice rendue, elle peut faire appel auprès du tribunal de grande instance. En outre, les études du MCLAU (2015, p. 48) [12] affirme que les actions menées par l'État à travers les autorités administratives et politiques face aux incidences foncières générées par l'étalement urbain permettront un développement harmonieux et équilibré de la ville d'Adzopé. Ainsi, des espaces sont réservés dans le plan d'urbanisme directeur pour accueillir de nouveaux équipements programmés.

Par contre, Les résultats de B. E. YEDOUNGBO et *al.*, (2023, p. 10) [13] combinent le droit coutumier et le droit moderne à Toumodi. Selon ces auteurs, la gestion du foncier dans la commune de Toumodi, est soumise à un double régime, le droit coutumier et le droit moderne. En effet, le droit coutumier est géré par les propriétaires terriens Baoulé. Mais, lorsque l'Etat s'acquitte de la purge des droits coutumiers sur une portion de terre bien délimitée alors celle-ci relève du droit moderne. Il en est de même pour A. R. GNANKOUEN (2022, p. 192) [14] pour qui la question du foncier dans l'espace urbain du Moronou repose sur deux (2) types de législations: les droits domaniaux d'État et les droits coutumiers. Les premiers se basent sur les legs de la gestion foncière de l'administration coloniale tandis que les seconds se fondent sur le principe de l'antériorité de l'occupation du territoire. Pour K. J. L. KOUAKOU (2024, p. 117) [15], il existe le droit coutumier, le guide de répartition des lots; les défauts d'arrêté d'approbation des plans de lotissements; la suspension de lotissement, le signataire des actes coutumiers ou administratif; la méconnaissance des règles d'acquisition de bien immobilier; la mauvaise foi des acteurs et autres.

5 CONCLUSION

En somme, trois facteurs sont à l'origine des tensions foncière à Adzopé. Ce sont entre autres les facteurs qui sont liés à la politique foncière, aux lotissements anarchiques et le facteur économique qui est à la base de la pauvreté des populations. Cette situation a engendré les différents types de litiges fonciers. La présence de ces litiges fonciers au sein de certains quartiers a engendré des incidences majeures dans la ville d'Adzopé. Ces incidences sont très souvent d'ordre économique. Pour résoudre ces tensions foncières au sein de la ville d'Adzopé, différentes stratégies ont été adoptés par des acteurs locaux. Ceux-ci se constituent du mode de règlement à l'amiable chez le chef de quartier ou du village, l'administration locale et la justice. Les populations ayant été victimes de litiges fonciers ont recours à la cour de conciliation de la ville d'Adzopé, au Ministère de la construction du logement et de l'urbanisme et à la Justice, pour obtenir réparation des préjudices subis.

REFERENCES

- [1] YASSI Gilbert Assi, 2006, *Production et gestion des déchets ménagers dans l'espace urbain: le cas de la commune d'Adzopé*, thèse de Doctorat unique en Géographie, Université de Cocody, Institut de Géographie Tropicale (IGT), Abidjan, 300 p.
- [2] DOH Hermann Pagell Ange Cedric, 2014, *Evolution spatiale d'un village rattrapé par la ville d'Abidjan: le cas d'Abatta*, Mémoire de Maîtrise, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, IGT, Abidjan, 177 p.
- [3] KOUTOUA Amon Jean-Pierre, ALOKO N'Guessan Jérôme & LOBA Akou Don Franck Valéry, 2019, « La gestion du foncier au centre des conflits entre autochtones et migrants à Abouabou au sud-est de la Côte d'Ivoire », in *Journal Africain de Communication Scientifique et Technologique*, No 49, 6477-6488.
- [4] LAMAN Kouadio Kan Eric, 2019, *Privatisation de la production foncière: le cas de la commune de Songon*, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, IGT, Mémoire de Master, 182 p.
- [5] OSSEPE AKossi Jean-Claude, 2018, *les conflits fonciers en milieu urbain en Côte d'Ivoire l'exemple de la ville d'Abidjan*, Thèse de doctorat unique de criminologie Sociologie Criminelle, Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Criminologie, 370 p.
- [6] KOFFI Konan Norbert, 2020, *Gouvernance foncière dans les villages communaux de Bouaké*, Thèse unique de Doctorat en Géographie, université Alassane Ouattara, Bouaké, 416 p.
- [7] Fédération Internationale pour les Droits Humains (FIDH), 2004, *Les défenseurs des droits de l'homme en première ligne*, Rapport annuel, éditions de l'Aube, 384 p.
- [8] OUATTARA Founnigui Robert, 2019, *Dynamique urbaine et conflits fonciers à Korhogo*, Mémoire de Master, Université Péléforo Gon Coulibaly, Korhogo, 99 p.
- [9] MINISTÈRE d'État, Ministère du Plan et du Développement, 2015, *Etudes monographiques et économiques des districts de Côte d'Ivoire district des lagunes*, Côte d'Ivoire, Abidjan, 306 p.
- [10] KOFFI Yeboue Stéphane Koissy, 2005, *Gestion du foncier urbain: Cas de Bingerville*, Mémoire de Maîtrise, Université Alassane Ouattara, Bouaké, 114 p.
- [11] DOHO Bi Tchou-André, COULIBALY Salifou, ACHY Chiadon Ange Nicole, KOFFI Brou Emile, 2020 « La gestion urbaine et les stratégies de résolution des problèmes fonciers à Divo » in *DaloGéo*, n° 3, pp. 218-236.
- [12] Ministère de la construction du Logement de l'Assainissement et de l'Urbanisme (MCLAU), 2015, *Plan d'urbanisme directeur d'Adzopé*, 106 p.
- [13] YEDOUNGBO Brou Emmanuel., ASSUE YAO Jean-Aimé et KOFFI Brou Emile, 2023, « Dynamique Urbaine et Risque de Litiges Fonciers dans la Ville de Toumodi (Centre-Sud de la Côte d'Ivoire) », in *ESI Preprints*, <https://doi.org/10.19044/esipreprint.6.2023.p.191>.
- [14] GNANKOUEN Anicet Renaud, 2022, « Dynamique urbaine, aménagement foncier et cadre de vie dans les villes de la région du Moronou (Est Côte d'Ivoire) », Thèse unique de Doctorat en Géographie, université Alassane Ouattara, Bouaké, 407p.
- [15] KOUAKOU Kouamé Jean Louis, 2024, *Dynamique urbaine et aménagement de la ville de Gagnoa (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)*, Thèse de Doctorat de géographie, UAO, Université Alassane Ouattara de Bouaké, 425 p.

Caractérisation et normes techniques de réalisation des demi-lunes multifonctionnelles et classiques selon les types de sol dans l'Ouest du Niger: Cas de Sokorbé (Loga)

[Characterization and technical standards for the construction of multifunctional and classic half-moons according to soil types in western Niger: The case of Sokorbé (Loga)]

Seidou Ousmane Idrissa¹, Tidjani Adamou Didier², Amadou Cheffou Barré³, and Ambouta Karimou Jean-Marie⁴

¹Doctorant ED, SVT de l'Université de Niamey, Niger

²Professeur titulaire à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey, Niger

³Ingénieur agronome, président du conseil d'administration de l'ONG Garkua, Niger

⁴Professeur Emérite à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey, Niger

Copyright © 2025 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, conducted in the commune of Sokorbé (Western Niger), aimed to characterize half-moons (multifunctional and conventional) and to assess the applicability of technical standards according to soil types. To this end, three experimental sites were installed on three distinct landscape units: the high plateau, the low plateau, and the glacié, where nine half-moon models were studied. Data were collected primarily based on measurements during and after construction of the structures. The results showed that the single-trench, multi-trench, and conventional models are more suitable for agricultural production due to the large number of zaïs. In terms of water storage capacity, the conventional and single-trench models proved more efficient, with 1.25 m³ and 1.16 m³ per structure, respectively. Regarding compliance with technical construction standards, structures built on the glacié are closer to theoretical standards than those built on the plateaus. An assessment of construction time shows that the time taken to complete structures on the glacié is shorter than that on the plateaus. 75% of structures per unit area are completed in less than 60 minutes on the glacié, compared to 50% on the plateau soils. Structures requiring maintenance have an average lifespan of four years, twice that of structures that have not received maintenance. Therefore, the construction context and the objectives should guide the choice of half-moon structures in the Sahel.

KEYWORDS: multifunctional half-moon, classic half-moon, technical standard, soil types, Sokorbé, West Niger.

RESUME: Cette étude, conduite dans la commune de Sokorbé (Niger-Ouest), a pour objectif d'une part de caractériser les demi-lunes (multifonctionnelles et classiques) et d'autre part d'apprécier l'applicabilité des normes techniques selon les types de sol. A cet effet trois sites expérimentaux ont été installés sur 3 unités paysagères distinctes à savoir, « le haut plateau, le bas plateau et le glacié » où 9 modèles de demi-lunes ont été étudiés. Les données ont été collectées essentiellement sur base des mesures pendant et après réalisation des ouvrages. Les résultats ont montré que les modèles mono-tranchée, poly-tranchées et le modèle classique sont plus aptes à la production agricole du fait du nombre important des zaïs. En termes de capacité de stockage d'eau, les modèles classique et mono-tranchée se sont avérés plus performants avec respectivement 1,25 m³ et 1,16 m³ par ouvrage. Quant aux respects des normes techniques de réalisation, les ouvrages réalisés sur le glacié sont plus proches des normes théoriques par rapport aux ouvrages réalisés sur les plateaux. L'évaluation de la durée de confection des ouvrages montre que le temps mis pour réaliser les ouvrages sur les glaciés est plus court que celui mis sur les plateaux. 75% des ouvrages par unité de surface sont confectionnés en moins de 60 minutes sur les glaciés contre 50% sur les sols des plateaux. Les ouvrages avec entretien ont une durée de vie moyenne de 4 ans, soit le double des ouvrages n'ayant pas bénéficié d'entretien. De ce fait le contexte de réalisation et les objectifs visés doivent orienter le choix des ouvrages de type demi-lune au Sahel.

MOTS-CLEFS: demi-lune multifonctionnelle, demi-lune classique, norme technique, types de sol, Sokorbé, Niger-Ouest.

1 INTRODUCTION

La dégradation des sols est un facteur déterminant de la faible productivité agricole, de la pauvreté et d'autres problèmes sociaux et environnementaux au Niger. La lutte contre la dégradation des sols représente un enjeu capital pour les populations du Sahel. Elle se traduit depuis plusieurs décennies par le déploiement de projets de gestion des eaux et des sols dans l'ensemble de la région soudano-sahélienne [16].

Le gouvernement du Niger a commencé à accorder plus d'importance au développement durable et à la préservation de l'environnement après les sécheresses des années 1970. C'est dans cette logique qu'il entreprit plusieurs mesures visant l'amélioration du potentiel productif et la préservation de l'environnement qui sont inscrites dans plusieurs stratégies et politiques et dans les différents plans quinquennaux. C'est ainsi que naît l'opération « Sahel vert ». Cette orientation a été renforcée après le débat de Maradi en 1984 visant la réhabilitation de l'environnement et le développement agricole avec l'institution des projets intégrés [11].

Plusieurs expériences ont déjà été menées les années antérieures dans la lutte contre la désertification. Il faut cependant signaler, que la plupart de ces expériences se passaient en l'absence d'un cadre stratégique et institutionnel approprié permettant une cohérence d'ensemble [11]. Les premières actions en matière de CES/DRS ont commencé autour des années 1960 avec les interventions du CTFT/ORSTOM dans le département de Tahoua et se sont ensuite poursuivies à travers plusieurs projets financés par le Fonds Européen de Développement (FED, la Coopération Suisse, l'ONG CARE International, CWS, la coopération allemande à travers le Projet Productivité Tahoua et le projet Tarka, la FAO à travers le Projet Intégré Keita, etc [4]. Des techniques utilisées par les différents projets et programme la plus répandues est la demi-lune du fait de sa simplicité de mise en œuvre et de son adaptabilité selon que la terre est à vocation agricole ou sylvopastorale. Depuis 2017, de nouveaux modèles et des nouvelles variantes des demi-lunes ont été proposés par les partenaires locaux de mise en œuvre du « Programme Alimentaire Mondial (PAM) ». Parmi ces variantes on note la prédominance de la demi-lune dite « multifonctionnelle » dont la connaissance scientifique à cette date, reste très limitée.

Il est indéniable que le bon fonctionnement de ces ouvrages ainsi que leur durabilité sont fortement liés à l'application des normes techniques tout en tenant compte des caractéristiques du milieu géomorphologique et du type de sol. D'après [2], l'adaptation des pratiques aux types de sols pour assurer un meilleur stockage et infiltration des eaux de pluie et réduire le phénomène d'érosion est une des conditions de réussite des pratiques GDT.

Plusieurs études ont fait cas du non-respect des normes techniques dans la réalisation des demi-lunes sur les sites récupérés [3]; [10]; [12] cette situation est généralement attribuée au faible niveau technique des communautés mais aussi à la faible contextualisation des techniques aux caractéristiques du milieu local (pente du terrain, états de surface et type de sol, pluviométrie). De plus l'absence des données sur le temps nécessaire à la réalisation d'une demi-lune selon les modèles, la nature du sol et la motivation du bénéficiaire n'ont pas permis aux acteurs de mieux évaluer le rendement homme/jour et à adopter un modèle en fonction du contexte. Cette étude a pour objectif de caractériser les différents modèles de demi-lune « multifonctionnelle et classique » et d'apprécier l'applicabilité des normes techniques selon les types de sol.

2 METHODOLOGIE

2.1 LA ZONE D'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée sur trois sites: le haut plateau de Goubey, le bas plateau de Sinsan et le glacié de Baziga. Tous ces sites sont situés dans la commune rurale de Sokorbé, département de Loga (Dosso).

Le haut plateau de Goubey: il s'agit d'un plateau gréseux correspondant à la haute surface sommitale des formations du Continental Terminal de l'Ouest nigérien (altitude environ 250 m) présentant de grandes surfaces de sol nu, encrouté, pavé de graviers et de cailloux, laissant apparaître localement quelques touffes d'arbustes à dominance de combrétacées et un tapis herbacé quasiment nul.



Fig. 1. *Vue de l'état de surface du plateau de Goubey avant la réalisation des demi-lunes*

Le bas plateau de Sinsan: C'est un plateau gréseux affaissé (altitude inférieure à celle de la surface sommitale des formations du Continental Terminal de l'Ouest nigérien), très encrouté avec une très faible rugosité en surface, très peu boisé avec dominance de combrétacées et sans tapis herbacé. Le sol est très graveleux et compacté sur une profondeur d'au moins 90 cm (*Figure 2*). C'est aussi une unité à vocation sylvopastorale avec présence d'anciens aménagements de types banquettes creusées dans les années 2000. Au total 54 hectares de terres ont été restaurés en 2021 et 2022 par la confection des ouvrages CES/DRS notamment les demi-lunes « multifonctionnelles et classiques »). Les coordonnées du centre du site sont: N: 13°33'12.4"; E: 003°05'23.6".



Fig. 2. *Vue de l'état de surface du bas plateau de Sinsan avant la réalisation des demi-lunes*

Le haut glacis de Baziga: Cette unité correspond à la partie haute d'une « jupe sableuse » ceinturant la base du talus du plateau. Elle est fortement entaillée par un ravinement actif provenant du plateau amont. Entre les ravines, le sol de couleur rouge est décapé et encrouté et compacté. C'est une unité exploitée en culture pluviale avec des arbres très dispersés dans les champs. Ce site couvre une superficie de 4 hectares récupérés à l'aide de demi-lunes en 2021 et 2022 (Figure 3). Les coordonnées du milieu du site sont: N: 13°33'33,8"; E: 003°12'10,3".



Fig. 3. *Vue de l'état de surface du haut glacis de Baziga avant la réalisation des demi-lunes*

2.2 LA MÉTHODE

2.2.1 LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental a été mis en place au niveau des trois unités paysagères à savoir le haut plateau, le bas plateau et le haut glacis, du bassin versant de Sokorbé. Dans chacune des unités, neuf modèles dont huit de demi-lunes « multifonctionnelles » et un de demi-lune dite « classique » ont été confectionnés. La fiche technique des modèles multifonctionnels élaborée par le PAM a servi de base pour les normes techniques de réalisation [19]. Les réalisations ont été faites en 2021, dans des conditions normales (avec le dispositif classique de suivi des réalisations) de conduite des chantiers de récupération des terres. Les travaux de confection des ouvrages ont été conduits par des hommes et femmes de différentes tranches d'âge comprises entre 18 et 54 ans (jeune, personne adulte). Sur chacun des trois sites et pour chaque modèle, 3 ouvrages ont été choisis au hasard sur lesquels les différentes mesures ont été effectuées. Au total 81 ouvrages ont été évalués dans le cadre de ce travail à travers: la recherche documentaire, l'évaluation des différentes caractéristiques des modèles, l'évaluation du temps de réalisation des modèles et l'estimation de la durée de comblement (durée de vie) des ouvrages. Ces ouvrages ont été implantés sur des pentes faibles > à 3%.

2.2.2 LA CLASSIFICATION DES MODÈLES

Les modèles ont été classifiés sur la base des trois (3) paramètres suivants, à savoir: le nombre de zaïs internes (le nombre de zaïs externes restant constant), le nombre et la forme des tranchées (capacité de captage d'eau) et la quantité de fumure organique recommandée. Sur cette base 8 modèles de demi-lunes de type « multifonctionnelles » ont été identifiés sur les sites de restauration des terres financés par le Programme Alimentaire Mondial (PAM) dans les régions de Dosso et Tillabéry. Les activités qui servent de cadre à cette recherche sont mis œuvre par les ONG Garkua et Karkara. Pour évaluer l'application des normes techniques, des mesures ont été effectuées sur les ouvrages juste après leur réalisation. Ces mesures ont porté sur les dimensions des tranchées (profondeur, longueur et largeur), l'écartement entre les zaïs et les dimensions des zaïs (diamètre et profondeur).

2.2.3 LA DETERMINATION DE LA CAPACITE DE CAPTAGE D'EAU

La capacité de captage d'eau de chaque modèle a été déterminée en prenant en compte la longueur, la largeur et la profondeur pour les formes carrées et rectangles. Quant aux formes circulaires comme les zaïs le diamètre et la profondeur sont pris en compte. Pour les modèles ayant plusieurs tranchées, le volume de stockage est égal à la somme des volumes des tranchées. Le volume de tous les zaïs est calculé après semis. La somme des volumes des tranchées et des zaïs constitue la capacité de captage des eaux.



Fig. 4. Vue du stockage de l'eau au niveau des différentes modèles de demi-lunes après une pluie de x mm

2.2.4 CALCUL DE LA HAUTEUR MINIMALE DE PLUIE POUR REMPLIR UN OUVRAGE

La hauteur minimale de la pluie nécessaire pour remplir un ouvrage d'un modèle donné selon le niveau de dégradation (coefficient de ruissellement) a été déterminée sur la base de la formule utilisée par Ambouta Karimou:

$$H_p = C_s \div R \times (S_i - S_o) + S_o \quad (\text{Équation 1})$$

$$H_p = C_s / (R \times (S_i - S_o) + S_o) \text{ avec:}$$

C_s = Capacité de stockage (mm)

S_a = Surface alimentant l'ouvrage en eau = S_i (surface de l'impluvium) + S_o (surface de l'ouvrage)

La hauteur de pluie minimale nécessaire pour remplir les ouvrages est en relation avec plusieurs paramètres notamment la capacité de stockage de l'ouvrage, le coefficient de ruissellement R. Sur la base du volume atteint par ouvrage et selon les types du sol, les hauteurs minimales des pluies pouvant remplir les ouvrages ont été déterminées en estimant les coefficients de ruissellement de chaque unité, selon les états de surfaces observées. A cet effet sur le sol de glasis, le coefficient de ruissellement appliqué est de 70% et 80% pour le sol du plateau.

2.2.5 DUREE DE MATERIALISATION ET DE CONFECTION D'UN OUVRAGE

Sur chacun des trois sites, la matérialisation des maquettes a été faite par une équipe de trois traceurs. Chaque traceur a eu à matérialiser au sol la maquette (design) de tous les 9 modèles. Puis un groupe mixte de 27 participants au travaux, composé des hommes et des femmes des tranches d'âge différentes ont été mobilisés au même moment pour la confection (réalisation physique) des 27 ouvrages en raison de 3 ouvrages par modèle. Pour chaque modèle, le sous-groupe, est formé d'un homme adulte (36 à 55 ans), d'une femme adulte et un jeune homme (18 à 35 ans) avec chacun un ouvrage à confectionner. Les 27 participants ont été mis dans les

conditions réelles des travaux sur les sites avec d'autres participants non suivis. Le temps mis par chaque traceur pour marquer le gabarit de l'ouvrage et par chaque participant pour la réalisation de l'ouvrage a été chronométré et enregistré. Dans la mise en œuvre de ces techniques, la durée de confection joue un rôle important dans la détermination du rendement homme/jour. Cette durée est certainement liée au niveau d'expériences des participants. Les données collectées montrent que la durée peut varier également d'une unité paysagère à une autre.

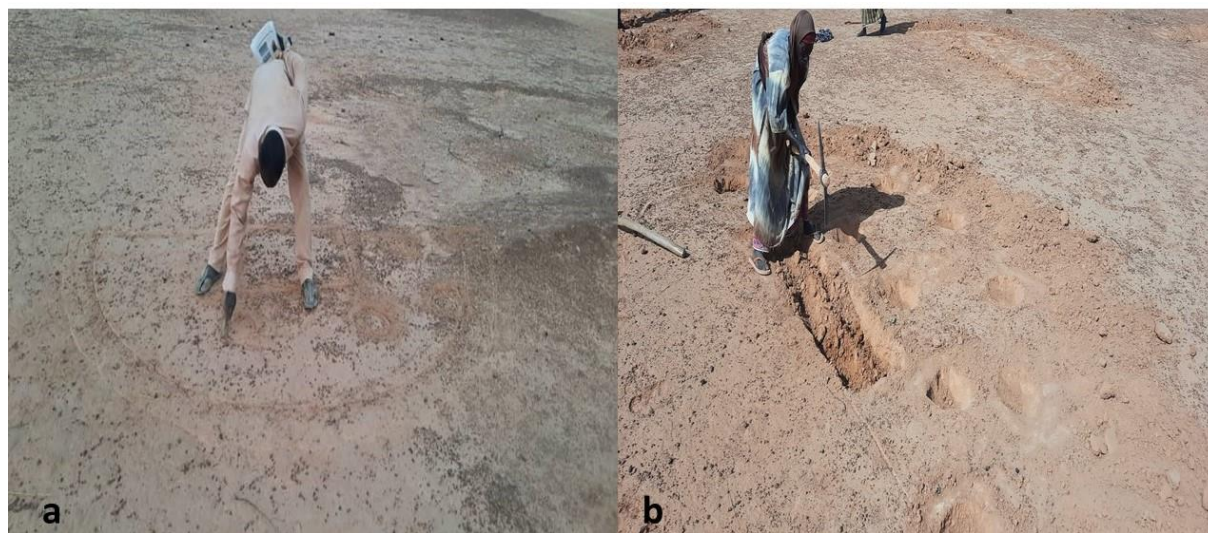


Fig. 5. Vue du processus de matérialisation de la maquette (a) et confection (b) d'ouvrage

2.2.6 COMBLEMENT (SÉDIMENTATION) DES OUVRAGES

Le niveau de comblement des ouvrages a été suivi durant les campagnes pluviales 2021 et 2022, plus précisément à la fin de la saison, et évalué au niveau des tranchées selon qu'elles soient avec entretien ou sans entretien. Les travaux d'entretien consistaient au curage des tranchées et au confortation des bourrelets. La mesure a été faite en partant de la profondeur initiale juste après la réalisation de l'ouvrage. Au niveau de chaque tranchée, la profondeur du sédiment accumulé est mesurée à 3 niveaux (les 2 extrémités de la tranchée et le milieu). Cette mesure est faite à l'aide d'une lame que l'on enfonce à travers les sédiments jusqu'au fond initial de la tranchée. Ensuite, une moyenne de ces 3 mesures est faite. Pour vérifier ces mesures on procède également aux mesures des profondeurs restantes, ensuite on déduit ces dernières la profondeur initiale selon l'équation 2:

$$H_s = P_{mi} - P_{mr} \quad (\text{Équation 2})$$

- H_s : Hauteur du sédiment (cm);
- P_{mi} : Moyenne de la profondeur initiale (cm);
- P_{mr} : Moyenne de la profondeur restante (cm)

Quant au volume du sédiment accumulé, il est déterminé à travers la formule suivante:

$$V_s = St * H_s \quad \text{Équation 3}$$

- V_s : Volume du sédiment par tranchée (m^3);
- St : Surface de tranchée (m^2); H_s : Hauteur du sédiment (m).

La détermination de la sédimentation des zaïs est réalisée de la même manière que celle des tranchées.

Le volume de sédiment par ouvrage est obtenu en additionnant le volume de l'ensemble des sédiments dans les tranchées et dans les zaïs que comporte l'ouvrage. Enfin le taux annuel de comblement est calculé en faisant le volume moyen annuel du sédiment sur le volume initial de l'ouvrage. En effet, le comblement d'un ouvrage peut être synonyme de l'arrêt de certaines fonctions de ce dernier notamment, le captage d'eau donc on peut oser qualifier ce comblement comme la fin de vie de l'ouvrage. Le suivi du taux annuel de ce comblement permet d'évaluer et d'estimer la durée totale de vie de l'ouvrage donc sa durabilité selon qu'il soit suivi ou non (entretien après une pluie).

2.2.7 APPRÉCIATION DE L'ÉTAT DES BOURRELETS

Des mesures sur la dimension du bourrelet notamment la largeur (base du bourrelet) et la hauteur ont été effectuées, après un an de réalisation sur les 81 ouvrages échantillonnés à raison de 3 demi-lunes par modèle et par unité paysagère. Donc les dimensions mesurées sont celles des bourrelets ayant survécu après une campagne pluviale.

2.3 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées ont été saisies à l'aide du tableur Excel. L'analyse des données a été faite avec le logiciel R. Les tests suivants ont été réalisés: calcul de la moyenne, écart-type et le test ANOVA à un et à plusieurs facteurs.

3 RESULTATS

3.1 TYPOLOGIE DES MODELES DE DEMI-LUNES

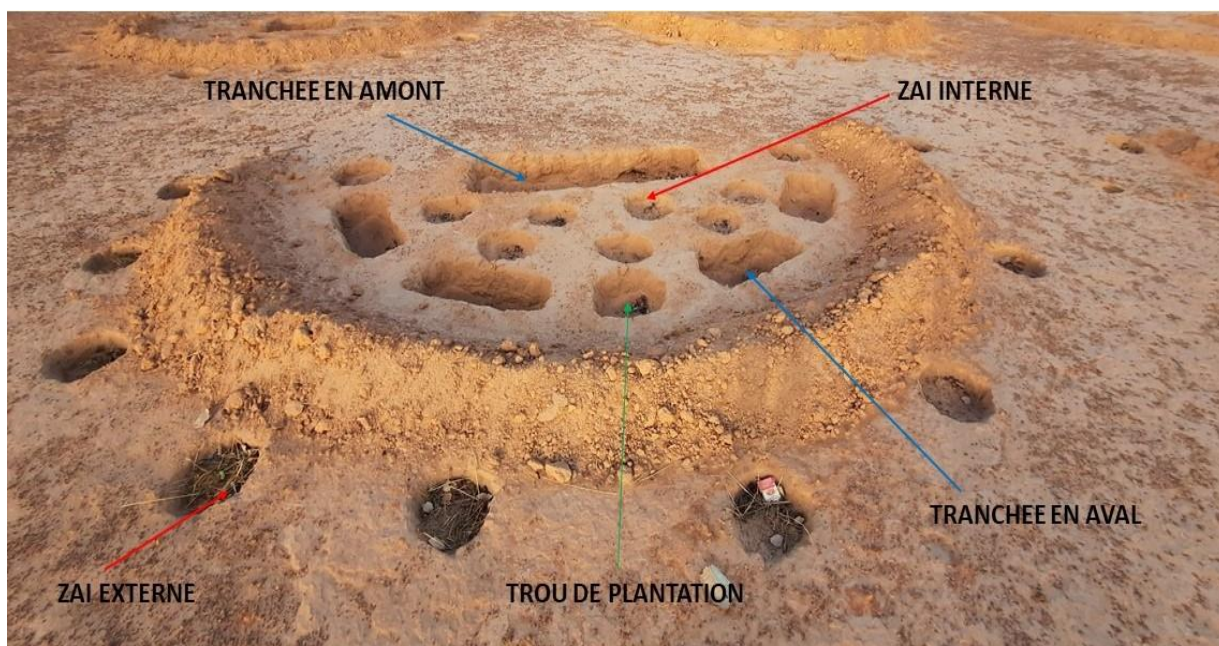


Fig. 6. *Vue des différentes parties d'une demi-lune multifonctionnelle*

Sur la base des paramètres de classification retenus, 3 grands types de modèles de demi-lunes ont été identifiés:

Le type à « mono-tranchée »: Il est formé des modèles avec une seule tranchée de captage de forme carrée ou rectangulaire située à l'amont de l'ouvrage et du modèle classique avec une excavation en forme de cuvette de l'ensemble de l'ouvrage (Figure 7). Les modèles de ce type sont caractérisés par une tranchée ou cuvette de captage d'eau, des zaïs à l'interne et à l'externe de l'ouvrage. L'écartement entre les zaïs à l'externe est de 100 cm et, à l'interne cet écartement varie entre 50 à 70 cm.

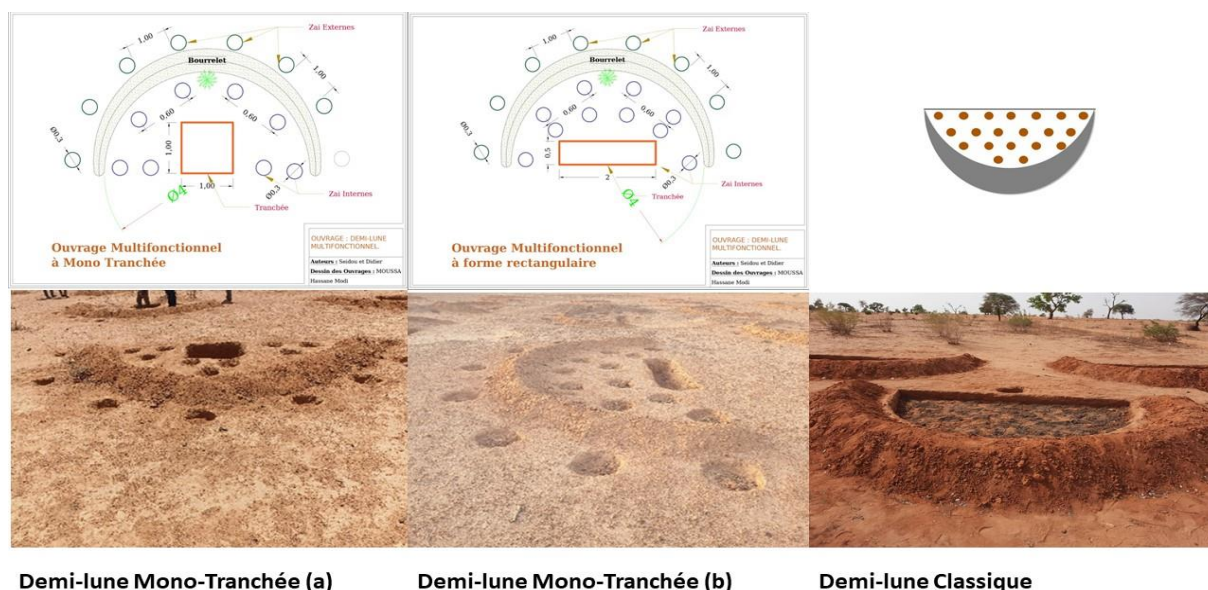


Fig. 7. Vue du type de demi-lunes à « mono-tranchée »

Le type à « bi-tranchées »: Il comprend 3 modèles qui se différencient des autres à travers le nombre de tranchées (2 par ouvrage) (Figure 8). Cependant, au sein de ce type, les modèles se différencient selon la forme de leurs tranchées et/ou le nombre de zais internes. Les modèles bi-tranchées (a) et (b) disposent respectivement de six (6) et cinq (5) zais internes alors que le bi-tranchées (c) ne dispose pas de zais internes mais plutôt d'une cuvette à l'image du modèle classique. L'écartement entre les zais à l'externe est de 100 cm et varie entre 70 et 100 cm à l'interne.



Fig. 8. Vue du type de demi-lunes à « bi-tranchées »

Le type à « poly-tranchées »: Il regroupe tous les modèles avec plus de 2 tranchées de captage positionnées à l'amont et à l'aval de l'ouvrage (Figure 9). Le nombre et la position des zais internes par rapport aux tranchées varient selon le modèle; l'écartement entre les zais externes est de 100 cm alors qu'il varie entre 50 à 70 cm pour les zais internes.

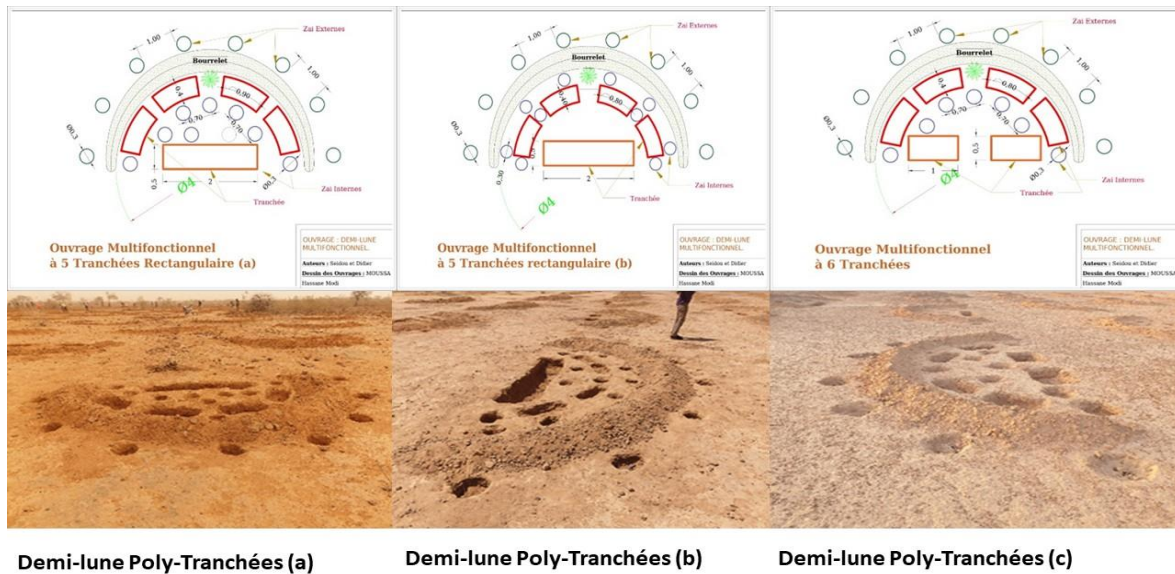


Fig. 9. Vue du type de demi-lunes à « poly-tranchées »

3.2 MISE EN ŒUVRE DE LA TECHNIQUE ET RESPECT DES NORMES TECHNIQUES

Profondeur des tranchées et volumes de captage

L'analyse du Tableau 1 montre que sur l'ensemble des trois unités paysagères, les normes en termes de profondeurs des tranchées et volume de captage n'ont pas été atteintes. Les profondeurs et les volumes atteints sont inférieurs aux moyennes théoriques. Les différences sont très significatives selon les modèles pour les deux mesures (profondeurs et volumes). Les réalisations faites sur les glaciés semblent être plus proches de la norme théorique que celles faites sur les plateaux en raison de la faible dureté du sol et du degré de pénibilité des travaux (Figure 10).

Tableau 1. Profondeurs et volumes de captage atteints selon les unités paysagères

Modèles	CARACTERISTIQUES THEORIQUES		Sol du haut plateau		Sol du bas plateau		Sol du glacié	
	Profondeur (cm)	Volume de stockage (m3)	Profondeur atteint (cm)	Volume de stockage atteint (m3)	Profondeur atteint (cm)	Volume de stockage atteint (m3)	Profondeur atteint (cm)	Volume de stockage atteint (m3)
MTa	100,00	1,16	40,00 ^c	0,56 ^a	40,00 ^d	0,56 ^{bc}	80,00 ^c	0,96 ^{ade}
MTb	50,00	0,68	30,00 ^a	0,48 ^e	20,00 ^b	0,38 ^c	50,00 ^b	0,68 ^{bd}
BITa	40,00	0,74	30,00 ^a	0,59 ^{ab}	30,00 ^a	0,59 ^{ab}	30,00 ^{ab}	0,59 ^{ab}
BITb	50,00	0,63	20,00 ^b	0,33 ^c	30,00 ^a	0,43 ^{ac}	40,00 ^{ab}	0,53 ^b
BITc	30,00	0,52	20,00 ^b	0,37 ^c	20,00 ^b	0,42 ^{ac}	30,00 ^{ab}	0,52 ^b
POTa	40,00	1,15	30,00 ^a	0,76 ^f	30,00 ^a	0,69 ^{be}	40,00 ^b	1,00 ^e
POTb	40,00	1,09	20,00 ^b	0,64 ^b	30,00 ^a	0,82 ^{de}	40,00 ^{ab}	0,96 ^e
POTc	50,00	1,03	30,00 ^a	0,71 ^f	30,00 ^a	0,71 ^{be}	40,00 ^b	0,93 ^{ae}
MC	20,00	1,26	15,00 ^b	0,96 ^d	15,33 ^c	0,96 ^d	21,00 ^a	1,32 ^c
Moyenne	46,67	0,92	26,11	0,60	27,26	0,62	41,22	0,83
Ecartype	22,36	0,27	7,82	0,20	7,48	0,20	16,76	0,27
Probabilité			P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000

Mono-tranchée (a) = MTa; Mono-tranchée (b) = MTb; Bi-tranchées (a) = BITa; Bi-tranchées (b) = BITb; Bi-tranchées (c) = BITc; Poly-tranchées (a) = POTa; Poly-tranchées (b) = POTb; Poly-tranchées (c) = POTc; Modèle Classique (MC).

Les résultats de l'analyse statistique présentent une différence très significative ($P < 0,001$) entre les profondeurs atteintes sur le glacis et celles atteintes sur les plateaux, néanmoins il n'existe pas de différence significative entre les deux plateaux. Cela serait dû au fait que les duretés des deux sols et la pénibilité du travail sont comparable. Cette situation influence de ce fait le volume de captage théorique des eaux selon les mêmes tendances. Les valeurs des volumes atteints sur le glacis sont très différentes de celles du haut plateau ($P=0.0015$) et du bas de plateau ($P=0.0006$).

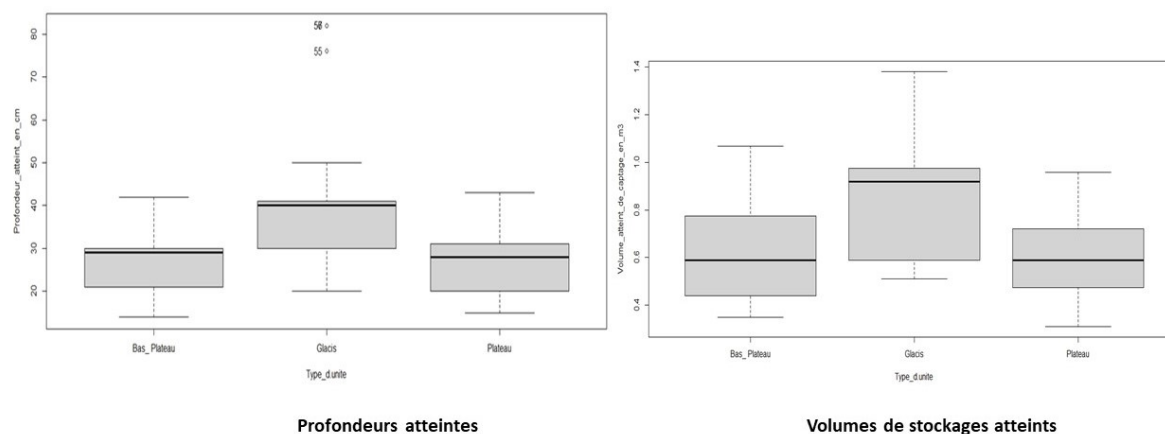


Fig. 10. Profondeurs et volumes atteints des ouvrages selon les unités paysagères

3.3 HAUTEURS MINIMALES DES PLUIES

L'analyse du Tableau 2 montre que la hauteur minimale des pluies varie en général d'un modèle à un autre avec une différence statistiquement très significative ($P = 0.000$). Sur le sol du glacis, la différence entre les hauteurs minimales observées et les hauteurs théoriques, n'est pas significative ($P = 0.51$), en revanche on observe une différence peu significative ($P = 0.04$) sur le sol du plateau. Quant à la différence entre les deux unités, elle est statistiquement peu significative ($P=0.03$).

Tableau 2. Hauteur des pluies minimales selon le type du sol

Modèle	Sur le sol du Glacis avec R= 70%		Sur le sol du Plateau avec R= 80%	
	Hauteur de pluie minimale théorique	Hauteur de pluie minimale ayant remplis l'ouvrage	Hauteur de pluie minimale théorique	Hauteur de pluie minimale ayant remplis l'ouvrage
MTa	32,69	27,05 ^c	29,25	14,12 ^{bcd}
MTb	19,16	19,16 ^{ab}	17,15	12,10 ^{ab}
BITa	20,85	16,63 ^{ab}	18,66	14,88 ^{ab}
BITb	17,75	14,94 ^b	15,89	8,32 ^{ac}
BITc	14,65	14,65 ^b	13,11	9,33 ^a
POTa	32,41	28,18 ^c	29,00	19,16 ^{bd}
POTb	30,72	27,05 ^c	27,49	16,14 ^{bcd}
POTc	29,03	26,21 ^{ac}	25,97	17,90 ^{ad}
MC	35,40	37,17 ^c	31,67	24,13 ^d
Moyenne	25,85	23,45	23,13	15,12
Ecartype	7,71	7,57	6,90	4,95
Probabilité		P= 0.000		P = 0.000

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement significatives

3.4 ECARTEMENT ENTRE LES ZAÏS

L'analyse de la Figure 11 (a) montre que 100% des ouvrages réalisés sur le sol de glacis ont un écartement supérieur à la norme technique théorique, en revanche 75% des ouvrages réalisés sur le haut plateau ont un écartement inférieur à la norme. L'analyse statistique montre qu'il existe une différence très significative ($P<0,001$) entre les écartements des zaïs externes sur le haut plateau qu'au

niveau de glacis et du bas plateau. Quant aux zaïs internes, la différence n'est pas significative selon les unités ($P > 0,591$). Néanmoins, ces écartements à l'interne varient selon les modèles (Figure 11 (b)). 75% des ouvrages du modèle MC ont un écartement entre les poquets au voisinage de 100 cm, les Mono-tranchées et poly-tranchées ont présenté des écartements inférieurs à 70 cm. Quant à l'analyse statistique, elle a montré l'existence d'une corrélation ($\text{cor } 0.65$) entre le nombre de zaïs internes et leur écartement.

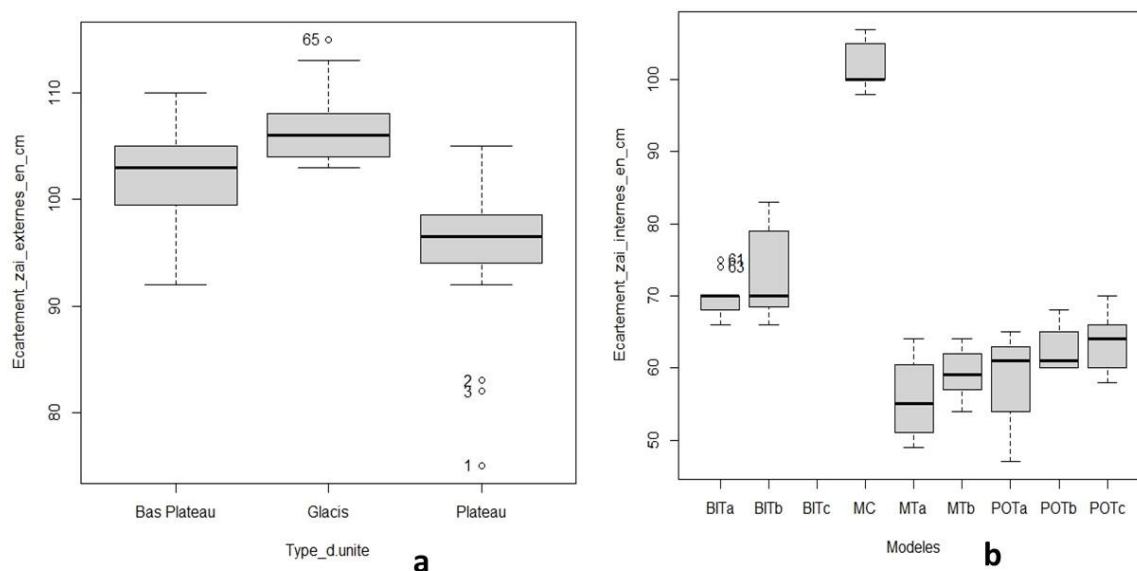


Fig. 11. Ecartement entre les zaïs selon modèles et en fonction des unités paysagères

3.5 MISE EN ŒUVRE DE LA TECHNIQUE ET DUREE DE CONFECTION DES OUVRAGES

La réalisation ou la confection d'ouvrage a été faite en deux phases à savoir la matérialisation de la maquette du modèle au sol par les traceurs et la confection de l'ouvrage par les participants. Les résultats (Tableau 3) indiquent que les modèles poly-tranchées (POTa, PTOb et TOPc) exigent significativement plus de temps dans la schématisation (maquette) que les bi-tranchées (BITa et BITb). Quant au modèle classique (MC), il est significativement le plus rapide à dessiner/tracer avec une moyenne de 11 secondes par maquette dessinée. Ces résultats montrent également que le temps mis pour confectionner un ouvrage des modèles poly-tranchées POTb et POTc est plus important, que pour les autres modèles avec des différences statistiquement significatives entre les groupes des modèles. La durée pour aménager un hectare de demi-lunes varie en fonction du modèle choisi, le poly-tranchées (POTb et POTc) et bi-tranchées (BITa) prenant significativement plus de temps.

Tableau 3. Durée moyenne (temps mis) pour la réalisation d'un modèle d'ouvrage selon les modèles

Modèles	Durée de matérialisation du design d'un ouvrage (seconde)	Temps mis pour la réalisation de l'ouvrage			
		Sol du plateau		Sol du glacis	
		Durée de réalisation de l'ouvrage (Min)	Durée de réalisation à l'hectare (Heure)	Durée de réalisation de l'ouvrage (Min)	Durée de réalisation à l'hectare (Heure)
MTa	72 ±13,44 ^a	56,5±4,76 ^{bc}	195 à 294	54,22±6,58 ^{bc}	187 à 283
MTb	63,33±7,85 ^a	55±7 ^{bc}	219 à 330	53,22±8,78 ^{bc}	184 à 278
BITa	59,33±3,9 ^a	71±6 ^{ab}	205 à 309	62,77±13,57 ^{ab}	217 à 328
BITb	57,66±3,9 ^a	54,5±5,5 ^{ac}	199 à 300	49,11±10,44 ^{ac}	170 à 256
BITc	50,33±30,9 ^{ab}	57,5±3,5 ^{bc}	174 à 263	55,55±7,15 ^{bc}	192 à 290
POTa	93±7,79 ^{ac}	53±4 ^{bc}	183 à 265	53,33±3,16 ^{bc}	184 à 278
POTb	183,33±10,96 ^d	71,83±10 ^b	249 à 375	68,22±9,44 ^b	236 à 355
POTc	124,33±8,84 ^c	64±7 ^{bc}	221 à 334	61,55±6,26 ^{bc}	213 à 321
MC	11,33±3,9 ^b	56,5±2,5 ^{bc}	194 à 295	53,44±9,57 ^{bc}	185 à 279
Moyenne	79,41	59,98	207 à 313	56,83	197 à 297
Ecartype	48,62	8,50		10,12	
Probabilité	P= 0.000	P= 0,004		P= 0,004	

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement significatives

L'analyse de la Figure 12 montre que la confection des ouvrages exige significativement moins du temps sur les sols de glacis qu'au niveau des sols des plateaux. En effet 75% des participants ont confectionné leur ouvrage en moins de 60 min sur les sols de glacis contre seulement 50% des participants sur les sols des plateaux.

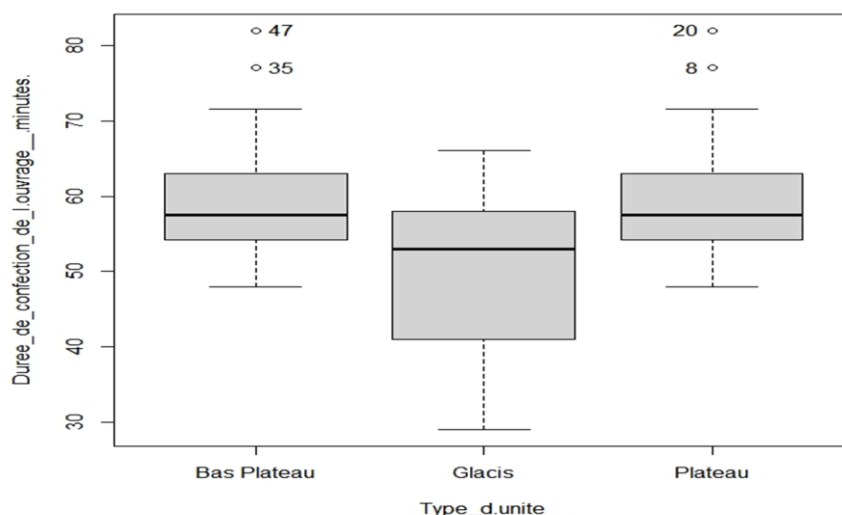


Fig. 12. Durée de confection d'un ouvrage selon les unités paysagères

3.6 DURABILITÉ DE L'OUVRAGE

- Etats des bourrelets après une campagne

L'analyse de la Figure 13 (a) montre que les largeurs du bourrelet des ouvrages du haut plateau sont très significativement différentes de celles du glacis ($P= 0.000$). En revanche il n'existe aucune différence significative ($P= 0.2879$) entre les largeurs du bourrelet des ouvrages du bas plateau et celles du glacis. Quant à la hauteur du bourrelet Figure 13 (b), elle est plus importante sur le haut plateau comparativement aux autres unités avec une différence statistiquement très significative ($P = 0.000$).

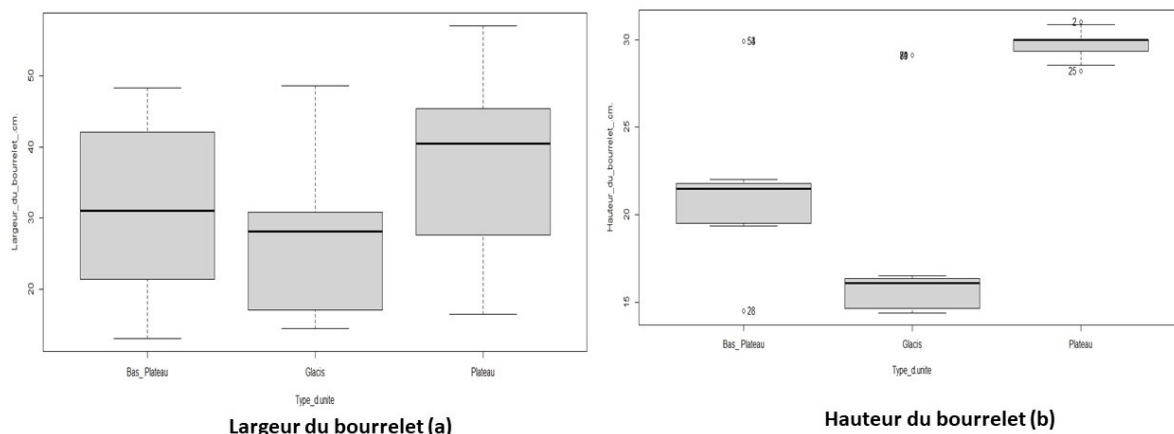


Fig. 13. Distribution des dimensions du bourrelet selon les unités

- Durée de comblement des ouvrages

L'analyse de la Figure 14 montre que les ouvrages ayant bénéficié des travaux d'entretien après une forte pluie ont un taux de comblement toujours nettement plus faible (durée de vie importante) que ceux sans entretien, sur l'ensemble des unités. De plus, quelle que soit la situation, les ouvrages réalisés sur le sol de plateau ont une durée de comblement statistiquement supérieure à celle de ceux réalisés sur le sol de glacis ($P < 0.001$).

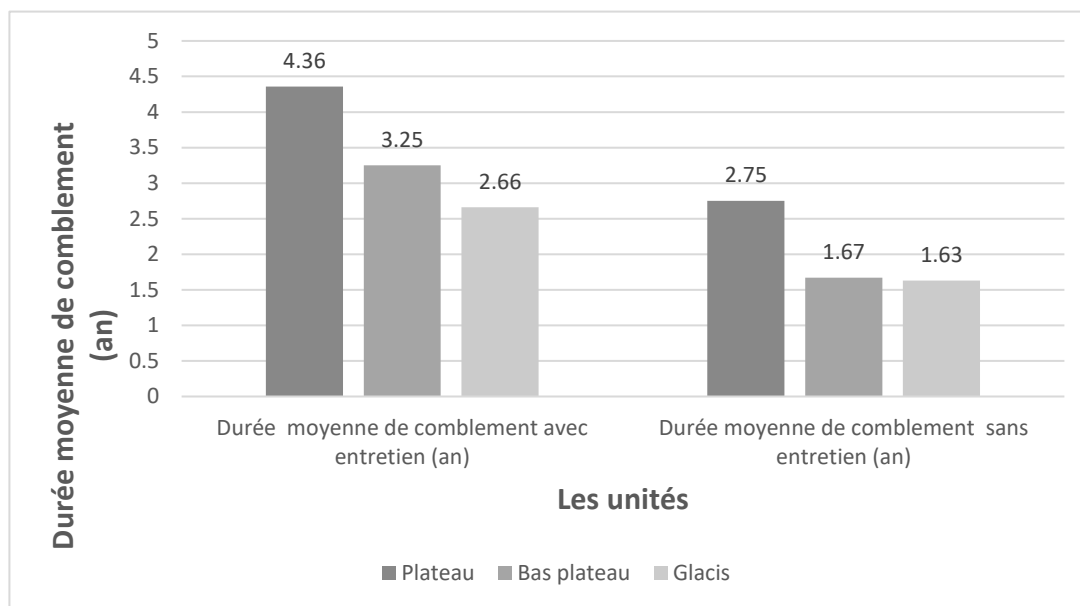


Fig. 14. Durée moyenne de comblement des ouvrages (fosses et tranchées)

4 DISCUSSIONS

Les caractéristiques et les dimensionnements des ouvrages sont des facteurs déterminants pour l'atteinte des résultats escomptés. La réussite des pratiques GDT nécessite de plus en plus une meilleure adéquation entre les normes techniques, les unités géomorphologiques et la pluviométrie [2]. La capacité de stockage est un élément à prendre en compte dans le choix du modèle à implanter selon le type du sol, la pluviométrie de la zone et l'objectif assigné aux travaux d'aménagement (recharge de la nappe, production, etc.). Les ouvrages à grande capacité de stockage sont plus adaptés aux zones de fort ruissellement ou de forte précipitation. Ils sont également plus favorables à la recharge de la nappe et à la réduction des inondations liées aux débordements des cours d'eau. Les modèles avec un nombre important de zaïs sont généralement favorables à la production agricole du fait que cette production est faite essentiellement dans les zaïs. Quant aux modèles à fort potentiel sylvo-pastoral, ils sont caractérisés par un nombre important des tranchées qui servent d'alimentation en eau des plants et un milieu favorable au piégeage et au développement des herbacées. Cet

aspect a été mis en évidence par [8] qui stipule que « les demi-lunes dirigent les eaux vers les plants, augmentant ainsi la disponibilité en eau. Lors de reboisement, le taux de survie des ligneux augmente ».

Plusieurs auteurs ont fait le constat sur le non-respect des normes techniques des ouvrages de CES/DRS en zone sahélienne et sahélo-soudanienne dont notamment [13] et [17]. Ce non-respect des normes techniques notamment la profondeur des tranchées et le volume de stockage est probablement lié à la nature du sol (l'épaisseur du sol, sa texture et sa structure, la présence ou non des graviers et cailloux et d'affleurement de cuirasse) mais aussi la complexité de la technique notamment la réalisation des demi-lunes multifonctionnelles. Les tranchées des ouvrages sur le glacis sont plus profondes que celles confectionnées sur le bas-plateau et sur le haut-plateau du fait que les sols des plateaux sont à faible épaisseur et riches en éléments grossiers d'où la difficulté d'atteindre les profondeurs requises pour les participants. Sur les plateaux, les profils pédologiques ont montré que dès les 20 premiers centimètres, le sol est dominé par des éléments grossiers notamment des graviers et cailloux avec une présence de la dalle cuirassée aux environs de quarante (40) centimètres comme rapporté au niveau du plateau latéritique dégradé de Sini Bangou dans la Commune de Simiri par Ousmane *et al.* (2020). L'affleurement de la dalle constitue un obstacle majeur à l'atteinte de la profondeur théorique. Ces résultats corroborent également ceux de l'étude conduite dans la même zone par [6] qui affirment que « la présence des placages sableux, de blocs rocheux ou d'affleurement de la cuirasse sur certains plateaux aménagés modifie en effet les caractéristiques et surtout l'impact de l'aménagement ». La capacité de captage d'eau est déterminante dans le choix du modèle à réaliser en fonction de la nature du sol (coefficient de ruissellement/niveau de dégradation, l'état de surface et son épaisseur), de la pluviométrie moyenne de la zone et des objectifs assignés. Dans des zones fortement dégradées où la pluviométrie moyenne est importante, il serait intéressant de choisir les modèles à grande capacité de captage afin d'éviter l'effondrement des bourrelets et du coup influencer la durabilité des ouvrages. Le non-respect du volume de stockage a un effet direct sur la durabilité des ouvrages. En effet, étant donné que la surface de l'impluvium a été définie selon la capacité de stockage théorique pour une pluviométrie donnée, sa diminution engendre le débordement important et une forte pression de la lame d'eau sur le bourrelet occasionnant la formation de brèches à travers le bourrelet. Quant au non-respect des écartements entre les zais, elle serait liée aux dimensions du bourrelet (largeur et longueur) pour les zais externes et au nombre de zais et des tranchées ainsi que leurs positions pour les zais internes. En effet, plus le nombre de zais à l'interne et de tranchées est important, plus l'écartement entre les zais devient petit. On peut également attribuer ces erreurs techniques au niveau du sérieux des participants aux travaux lorsque le contrôle présente des défaillances.

Le modèle classique semble être le plus facile à tracer du fait de la simplicité de sa maquette. Le temps mis pour le traçage des modèles multifonctionnels est lié d'une part à leurs structures (le nombre, la forme et la position des fosses) et d'autre part à leur niveau de complexité selon les modèles (disposition en des zais internes, écartement entre les zais, distance entre les zais et les tranchées, etc.). Cette complexité des modèles multifonctionnels dans le traçage des différents designs peut jouer sur le processus d'adoption de ces derniers au niveau communautaire par rapport au modèle classique; elle peut également être à la base du non-respect des normes techniques (la position en quinconce, l'écartement et la position des zais internes et externes) de confection par certains participants aux travaux, ce qui, du coup va jouer sur la durabilité des ouvrages. La connaissance de la durée moyenne de matérialisation du design peut aider dans la détermination du nombre de traceurs à engager pour un nombre donné des participants. La différence constatée entre les types de modèles est probablement imputable à la structure, au volume et au nombre de tranchées par type d'ouvrages. Il est à relever que l'exigence en temps plus important pour réaliser un modèle par rapport à un autre peut jouer sur son niveau de réplication voir même de son adoption au niveau communautaire. Les modèles les plus simples à réaliser ont tendance à être les plus choisis par les communautés.

La différence observée en termes de durée de réalisation selon les unités paysagères est probablement liée à la nature du sol qui est généralement plus rocailleux et dur au niveau du plateau que sur glacis. La durée moyenne de réalisation d'un hectare de demi-lunes est proche de celle rapportée par [16]. La durée peut varier également selon le niveau de connaissance et l'expérience des participants aux travaux.

La variation de la vitesse de comblement des ouvrages constatée serait liée d'une part à la nature du sol (état de surface, niveau de dégradation) et d'autre part à la capacité d'arrachage et de transport de l'eau de ruissellement ou du vent précédant la pluie. En effet, le scellement de la surface du plateau par une croute d'érosion associée à une croute graveleuse et le pavage par des cailloux non seulement limite la disponibilité de particules mais aussi crée une forte rugosité limitant la vitesse du ruissellement et du vent; ceux-ci pourraient aisément justifier la durabilité des ouvrages sur ce site contrairement au glacis portant une simple croute de dessiccation très fragile sans aucune rugosité de surface pour limiter la vitesse des agents érosifs. Pour ce qui concerne la faible durabilité constatée des ouvrages sans entretien, nos résultats corroborent ceux obtenus par [15]. Quant à la forte durabilité des ouvrages observée sur le plateau corrobore les résultats obtenus par [9]. Les travaux d'entretien des ouvrages après des grandes pluies peuvent jouer sur la vitesse et le niveau de comblement de ces ouvrages. La nécessité d'entretenir les ouvrages pour garantir leur durabilité a été aussi évoquée par [5]; [13] et [18].

Le bon état des bourrelets constaté sur le haut plateau par rapport aux autres unités serait très probablement lié à la nature du sol. En effet, les éléments grossiers dominant dans le sol des plateaux qui sont extraits des excavations pour constituer les bourrelets offriraient une plus grande consistance et une solidité face aux forces de désagrégation par l'impact des gouttes de pluie et à l'arrachage

par le vent que les limons sableux extraits des sols du glacis. A cet effet selon [8], les bourrelets en terre des demi-lunes agricoles sont à refaire annuellement. Ceci étant, le pavage des bourrelets avec des pierres peut améliorer la durabilité des ouvrages et réduire l'effet d'ouverture des brèches en cas de fortes pluies [8].

5 CONCLUSION

Cette étude a montré que les demi-lunes multifonctionnelles et classiques offrent aux utilisateurs une gamme de choix selon les objectifs assignés, la nature du sol et en fonction des caractéristiques du milieu. Le choix du modèle à implanter doit dépendre des caractéristiques de ce dernier qui détermine alors son potentiel de production. En effet les modèles avec un nombre important de zaïs sont plus aptes à la production agricole tandis que les modèles ayant un nombre important de tranchées sont plus favorables à la production sylvo-pastorale. L'applicabilité des normes techniques est fonction du type de sol (notamment son épaisseur et sa charge grossière), de la pluviométrie moyenne du site et de l'état de surface du sol. En effet les conditions du milieu (type et état de dégradation du sol, pluviométrie) constituent les principaux paramètres à prendre en compte pour affiner et réadapter les normes techniques théoriques aux réalités du milieu. Quant à la durabilité des ouvrages, elle est également liée au type de sol sur lequel les ouvrages ont été réalisés et au mode d'entretien mis en place par les communautés. Il ressort de cette étude que les demi-lunes sur sol de plateau sont plus durables que celles sur glacis, que ces dernières sont cependant plus faciles à réaliser. Enfin pour toute implantation des ouvrages sur une unité donnée, il serait préférable de tenir compte non seulement du type de sol, mais aussi des caractéristiques du modèle pouvant permettre d'optimiser le potentiel de production visé. Il est également important de prendre en considération les normes techniques théoriques et les principes de fonctionnement des ouvrages de CES/DRS ainsi que le rendement homme/jour le plus approprié à appliquer sur l'unité de paysage à traiter.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts entre eux.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Seidou Ousmane Idrissa et Tidjani Adamou Didier ont rédigé le manuscrit.

Ambouta Karimou Jean-Marie a contribué à la correction et à l'amendement du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements au Programme Alimentaire Mondial (PAM) et à l'ONG Garkua pour leurs soutiens financiers dans le cadre de la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] Abdessalem, K., 2017, Guide pratique des principales techniques de lutte contre la désertification, Observatoire du Sahara et du Sahel, 44 pages.
- [2] Aboubacar I., I., Aboubacar, et M., Isabelle, 2021, Appui portant sur la capitalisation des pratiques de gestion durable des terres au Niger (CAPGDT). Niger, Ministère de L'environnement, De La Salubrité Urbaine Et Du Développement Durable, 87 pages.
- [3] Charha, S., 2018, Effets des demi-lunes sylvo-pastorales sur le potentiel écologique des terres dégradées de la grappe de Sahiya, zone d'intervention du PAM, dans la commune rurale de Bagaroua, Niamey, Niger: UAM, 86 pages.
- [4] Conseil National de L'Environnement pour un Développement Durable, 2003, Evaluation des actions menées au Niger dans le domaine de l'environnement (Reboisement, récupération/restauration de terre) pendant les vingt (20) dernières années 1984-2002, Niamey, Niger: CNEDD, 120 pages.
- [5] Descroix, L., I., Mamadou, M. M., Abdou, A., Bachir, I. B., Moussa, E., Le Breton, et S. Y., Kadidiatou, 2012, État des lieux et proposition de restauration des sols sur le Bassin versant de Tondi Kiboro (Niger), In Lutte antiérosive, IRD Éditions, 11 pages.
- [6] D'Herbès, J., Marc, J. M. K., Ambouta, et R., Peltier, 1997, Evolution de la végétation spontanée sur plateaux latéritiques traités par des travaux anti-érosifs dans le département de Dosso (Niger), In Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, Paris, John Libbey Eurotext, 46 pages.
- [7] FAO, 2016, La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique ». Population (French Edition), Nature&Faune, 30 pages.
- [8] GIZ, 2012, Bonnes pratiques de CES/DRS. Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs, Bonn, Allemagne, GIZ, 60 pages.
- [9] Ibrahim, M. K., 2019, Note sur les travaux d'aménagement des terres du village de Makaouraci dans la commune rurale de Wacha (Zinder), Zinder: CRA-Zinder, 8 pages.

- [10] Gouné M. B. A., 2018, Effets des travaux de récupération des terres dégradées sur le potentiel agro-sylvo-pastoral dans les secteurs de Sahiya et Changnassou (Bagaroua), Niamey, Niger: Université UAM, 114 pages.
- [11] Mamadou A., G., Sani, D., Aboubacar, et A., Oudou, 2015, 25 ans de réhabilitation et de conservation des sols au Sahel. Soutien aux efforts des populations rurales du Niger, GIZ et KfW, 40 pages.
- [12] Moussa A. O., 2018, Effets des travaux de récupération des terres sur la résilience des communautés dans le secteur de Darey, commune de Tondikiwindi/Ouallam; UAM/Niamey, 95 pages.
- [13] Moustapha, et A. M., 2010, Rapport sur les techniques de captage de l'eau des pluies au Niger, Stockholm Environment Institute, 29 pages.
- [14] Ousmane, L. M., A., Abdou, D. G., Iro, R. A., Harouna, et M., Ali, 2020, Impacts des banquettes dans la récupération des terres dégradées au Niger ». *Journal of Applied Biosciences* 151, 29 pages.
- [15] RECA, 2016, Suivi de demi-lunes forestières dans la commune de Guéladio : la nécessité de changer de pratiques pour améliorer les résultats », Niger-RECA, 8 pages.
- [16] Roose, E., V., Kabore, et C., Guenat, 1995, Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina-Faso), Paris, John Libbey Eurotext, n° 15: 249-65 pages.
- [17] SALEY D. M., 2018, Effets des demi-lunes agricole et forestière sur le potentiel Agro-sylvo-pastoral dans le secteur de Kokaina (Tondikiwindi), Niamey, Niger: Université UAM de Niamey, 121 pages.
- [18] VLAAR (Ed.), J.C.J. 1992, Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel ». Rapport d'étude. Ouagadougou Burkina Faso: Ouagadougou Burkina Faso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, les Pays-Bas, 121 pages.
- [19] Volli, C., 2019, Standards et variations techniques sur des activités CES/DRS-Milieus arides/semi-arides, Dakar, Programme Alimentaire Mondial (PAM), 32 pages.

Evaluation of the effect of types of fertilization, sowing methods and seed rates on the yield and plant density of fonio (*Digitaria exilis* Stapf) in Mali

Moussa Daouda Sanogo¹, Fagaye Sissoko², Youssouf Sogoba¹, Salia Coulibaly³, and Issouf Kone⁴

¹Station de Recherche agronomique de Cinzana, Segou, Mali

²Centre Régional de Recherche Agronomique de Sikasso, Mali

³Station de Recherche Agronomique de N'Tarla, Mali

⁴Innovations in Development, Education and the Mathematical Sciences (IDEMS International), United Kingdom

Copyright © 2025 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 is a contribution to fonio's agroecological intensification cultivation. Objective is to propose innovative recommendation based on interaction between fertilization*seed rate *sowing arrangement to increase fonio yields. A factorial trial was set up in Mali. Paddy yield and plant density were evaluated. Treatment involving mineral fertilization was the most productive with 10% gain over those involving compost and 30% over those involving zero fertilizer. In zero fertilizer condition, the best treatment with 640 kg ha⁻¹ yield paddy combine zero fertilization, 15 and 30 kg ha⁻¹ seed rate and broadcast sowing. In mineral fertilization condition the best treatment with 1090 kg ha⁻¹ combine mineral fertilizer, 15 and 30 kg ha⁻¹ seed rate and broadcast sowing. In compost condition, the best treatment combine compost, 15 and 30 kg ha⁻¹ of seed rate and broadcast sowing and compost, 1 and 2 kg ha⁻¹ seed rate and line sowing, with an average paddy yield of 835 kg ha⁻¹. Doubling seed rate does not affect paddy yield, but affects essentially plant density for treatments involving broadcast sowing. Treatments involving broadcast sowing with 30 kg ha⁻¹ of seed rate have plant density higher than 46%, 71% and 88% then treatments including broadcast sowing, 15 kg ha⁻¹ seed rate, line sowing and hill dropping sowing at a seed rate of 2 kg ha⁻¹, respectively.

KEYWORDS: broadcast sowing, hill dropping sowing, line sowing, mineral fertilizers, compost, interaction, yield and density.

1 INTRODUCTION

West African, fonio cultivation area was estimated more than 550,000 ha of land area per annum with production of 250,000 t/year and an average yield of 700 kg ha⁻¹ [13] and yield is ranking between 0.2 t.ha⁻¹ to 0.9 t.ha⁻¹ [2], [7]. However, depending on cultivation conditions, some producer can reach 1200 kg ha⁻¹ and even 2,000 kg ha⁻¹. In Guinea Conakry, top producer country across the word, cultivation area is about 459,563 ha and 479,985 t production in 2017 and yield is ranking between 605 and 847 kg ha⁻¹ (SNA 2021). In Mali, fonio is growing mainly in Sahelian, North Guinea and Sudanese zones on around 40,533 ha, 22,000 t production which representing less than 2% of cereal cultivation area and less than 0.5% of cereal production [10]. Fonio land area per farm varies from 0.5 ha to 3 ha, with total available land area ranking from 5 to 13 ha. Yields are low, varying between 600 kg ha⁻¹ in Sahelian zone and 800 kg ha⁻¹ in Sudanese zone [10]. Traditionally, fonio cultivation consist to a superficial work before sowing [23], and weeding to the demand. Sowing method on-farm is mainly broadcast and seed rate vary between 40 and 60 kg ha⁻¹. These rates, considered to be a waste of seed [18], while being a constraint to fonio growing areas extension, it's would help weeds control and reduce crop maintenance time. In Mali, the Institut d'Economie Rurale recommends 15 and 30 kg ha⁻¹ of seed rate. However, in perspective to intensify fonio cultivation, 2 kg ha⁻¹ seed rate is currently being tested on-farm. Traditionally, fonio don't benefited fertilization, although small quantities of mineral fertilizer are applied sparingly on -farm, particularly in northern Guinea zone, to compensate for growing deficits. In

the sub-region, the mineral fertilizer rate initially proposed by fonio research is similar to sorghum and millet, i.e. 100 kg ha⁻¹ of DAP and 50 kg ha⁻¹ of urea. The Institut d'Economie Rurale (IER) has proposed smaller rates, i.e. 20 kg ha⁻¹ of DAP and 10 kg ha⁻¹ of urea (In press) which take into account fonio's low aerial biomass production relatively lower and nutrient requirements compare to millet and sorghum, and finally low income of producers.

Originally, fonio, for its early maturity period, was considered to be both a male and female crop, depending on agro-ecological zone. But following to maize introduction, which is also early but more productive, fonio became mainly a female crop in Sudanese and North Guinean zones, and remained a mixed crop in the Sahelian zone, with greater female involvement in harvesting and post-harvest operations.

Fonio cultivation faces a lot of constraints divide to production and post-harvest challenges. Production constraints include lack and poor application of good agronomic practice and poor application of technical itineraries recommended by research (Eric et al, 2007), lack of effective seed system [3], [4] and availability of improve seed, low yield. We can add biotic and abiotic stresses. Biotic stress include weeds like *Kyllinga squamulata*; phytophagy parasite and sucker flower and paddy at early maturing stage like *Lytta vesicatoria* and disease [2], [14], [17]. Abiotic stresses including terminal drought stress even fonio's crop have good recovery capacity during vegetative stage. Initial soil fertilizer can affect also fonio's production even fonio is less susceptible to low fertility compare to other crops. Post-harvest challenges including grain small size, threshing, winnowing, shelling and whitening [21]. Despite its status of called minor and neglected crop, fonio has remained part of farming systems over the years, as producers quickly recognized the role plays in improving soil structure, food security and nutrition [25]. It is also recommended in the diets of diabetics and obese people [11].

This study is a contribution to fonio's agroecological intensification cultivation. Objective is to propose innovative recommendation based on interaction between three types of fertilization, two types of seed rate and four types of sowing method in factorial trial to increase fonio yields. Paddy yield and density have been valued. Use new sowing methods like hill dropping and on line will allow mechanization and reduce seed rate. The study will provide responses to the following research questions: Are there significant differences between treatments in terms of paddy yield and plant density? What treatment should be proposed in different fertilization contexts? What is the impact of sowing arrangement and seed rates on yield and plant density?

2 MATERIAL AND METHOD

2.1 EXPERIMENTAL SITES

The work was carried out at Cinzana and N'Tarla Agricultural Research Stations and at Farako Agricultural Research Substation of the Institut d'Economie Rurale (IER) during the 2020-2021 raining season (**Figure 1**). The locations and main characteristics of these structures are listed in Table1.

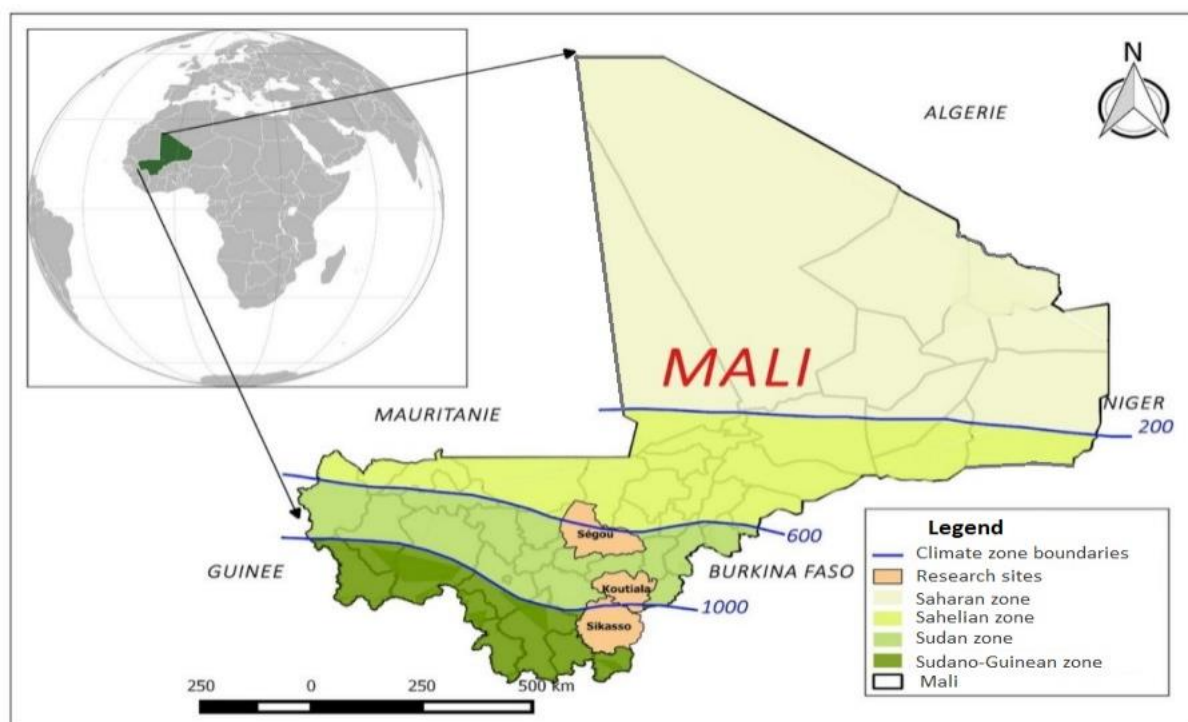


Fig. 1. Map of Mali with the different intervention zones

Table 1. Location and characterization of experimental sites

	SRA Cinzana	SSRA Farako	SRA N'Tarla
Administrative region	Ségou	Sikasso	Koutiala
Agro-ecological zone	Sahelian	North Guinean	Sudanese
Longitude and latitude	5°57' et 13°15'N	-5°48' W et 11°21'N	5°42' et 12°35'
Average rainfall	700 mm	1100 mm	850 mm
Soil structure	Tropical ferruginous depleted, ruby modal	Leached tropical ferruginous	silty-clay-sandy
Average sand content horizon 0-20 cm		84%	72%
Texture	Silty sand	Silty sand	Silty sand
Previous crop	Cowpea	Maize	Sorghum

2.2 EXPERIMENTAL DESIGN

Trials were hand sown in a factorial design with 3 replications and 3 factors comprising 3 fertilization levels x 2 seed rates x 4 sowing arrangements, i.e. 24 entries, was set up. The main factor includes 3 levels of fertilization: compost made from cow dung and fonio and millet straws. It was applied at 1000 kg ha⁻¹; mineral fertilizers (Di Ammonium Phosphate at a rate of 20 kg ha⁻¹ and 10 kg ha⁻¹ of urea) and zero fertilization (control). The secondary factor concerned sowing rates: single and double rates of seed rate. The single rate is 1 kg ha⁻¹ for hill dropping and line sowing, and 15 kg ha⁻¹ for broadcast sowing (control 1). The double rate is 2 kg ha⁻¹ for the first two sowing methods and 30 kg ha⁻¹ for broadcast sowing (Control 2). The tertiary factor, concern sowing arrangements: in hill dropping at distances of 15 cm x 40 cm, hill dropping at distances of 30 cm x 40 cm, line sowing at a distance of 40 cm between lines and broadcast sowing.

Experimental design is divided in 3 blocs for main factor (compost, mineral fertilization and zero fertilization). Each bloc is divided in two sub-blocs for secondary factor (simple and double seed rate). In each sub bloc we had 3 repetitions and each repetition contain 4 plots with 4-m large and 6-m long. Each plot contain sowing method randomized.

2.3 PLANT MATERIAL

The plant material used was the Solosso variety, an ecotype from San region of Mali. An overview of the 24 treatments is given in Table 2.

Table 2. Overview of the 24 Treatments

Treatment	Fertilization	Type of planting	Sowing arrangement	Seed quantity
T1	Compost	Hill	15 x 40 cm	1 kg ha ⁻¹
T2	Compost	Hill	15 x 40 cm	2 kg ha ⁻¹
T3	Compost	Hill	30 x 40 cm	1 kg ha ⁻¹
T4	Compost	Hill	30 x 40 cm	2 kg ha ⁻¹
T5	Compost	Line	40 cm interline	1 kg ha ⁻¹
T6	Compost	Line	40 cm interline	2 kg ha ⁻¹
T7	Compost	Broadcast		15 kg ha ⁻¹
T8	Compost	Broadcast		30 kg ha ⁻¹
T9	Mineral fertilizer	Hill	15 x 40 cm	1 kg ha ⁻¹
T10	Mineral fertilizer	Hill	15 x 40 cm	2 kg ha ⁻¹
T11	Mineral fertilizer	Hill	30 x 40 cm	1 kg ha ⁻¹
T12	Mineral fertilizer	Hill	30 x 40 cm	2 kg ha ⁻¹
T13	Mineral fertilizer	Line	40 cm interline	1 kg ha ⁻¹
T14	Mineral fertilizer	Line	40 cm interline	2 kg ha ⁻¹
T15	Mineral fertilizer	Broadcast		15 kg ha ⁻¹
T16	Mineral fertilizer	Broadcast		30 kg ha ⁻¹
T17	Zero fertilizer	Hill	15 x 40 cm	1 kg ha ⁻¹
T18	Zero fertilizer	Hill	15 x 40 cm	2 kg ha ⁻¹
T19	Zero fertilizer	Hill	30 x 40 cm	1 kg ha ⁻¹
T20	Zero fertilizer	Hill	30 x 40 cm	2 kg ha ⁻¹
T21	Zero fertilizer	Line	40 cm interline	1 kg ha ⁻¹
T22	Zero fertilizer	Line	40 cm interline	2 kg ha ⁻¹
T23	Zero fertilizer	Broadcast		15 kg ha ⁻¹
T24	Zero fertilizer	Broadcast		30 kg ha ⁻¹

2.4 CONDUCTING THE TRIAL

A flat plough followed by levelling was carried out before sowing. Sowing was carried out in wet soil, without mixing fonio seed with sand and without fungicide treatment. For broadcast sowing, seeds were spread over the plots. In hill dropping and line sowing, hill and line were marked out before and followed by seeds sowing. Seeds are buried very superficially with a daba to prevent them being eaten by granivorous birds or plundered by ants. DAP and compost were broadcast and ploughed in at sowing time. Urea was spread as soon as flag leaves appeared on moist soil. Conditions of realization were carried out are shown in Table 3.

Table 3. Test conditions at the Cinzana, Farako and N'Tarla sites

Parameter	Cinzana	N'Tarla	Farako
Previous crop	Cowpea	Millet	Sorghum
Date of planting	June 26, 2021	June 28, 2021	June 28, 2021
Total rainfall received during the trial	331 mm	457.5 mm	489 mm

2.5 AGRO-MORPHOLOGICAL MEASUREMENTS.

Two agro-morphological measurements were done including plant density and paddy weight (kg ha⁻¹). Paddy consists of the husks surrounding the grains. They are removed by mechanical hulling.

2.5.1 DENSITY ESTIMATION

Plant density was determined 20 days after plant emergency. In broadcast plots, 10 squares of 20 cm x 20 cm were placed at random. In each square, all plants were removed and counted. The plants in the 10 squares were averaged to determine by extrapolation number of plants per hectare. In plots sown in continuous line, number of plants was determined in the same way as for broadcast sowing, but with squares placed along sowing line. In hill sowing plots, 10 hills were randomized, and plants were removed and counted. Based on the average of the number of plant in 10 hills, the density per hectare was determined by extrapolation.

2.5.2 YIELD ESTIMATION

At physiological maturity, a portion of aerial biomass including panicles was harvested approximately 30 cm above the ground by sickle and stored in heap on tarpaulins with panicle exposed to the sun. After drying, aerial biomass is threshed with sticks to remove paddy. And after winnowing, plot paddy weights were determined with balance of precision called Kern ff and paddy yield is determined by extrapolation.

3 RESULTS

3.1 PADDY YIELD (KG HA⁻¹)

Higher yield was recorded at Cinzana, followed by both Farako and N'Tarla. At Cinzana, yield is ranking between 399 and 1005 kg ha⁻¹, with 775 kg ha⁻¹ average yield and 0.55 coefficient of repeatability. The best treatment is an interaction between zero fertilizer*seed rate at 2 kg ha⁻¹*line sowing with 1005 kg ha⁻¹ average yield was highly significantly different (Table 4). Yield average analysis in relation with types of fertilization reveals that all treatments including compost were highly significantly more productive with 860 kg ha⁻¹ an average yield. They were followed by all treatments including zero fertilizer (control) and all treatments including mineral fertilizer, both had 735 kg ha⁻¹ of average yield. This performance of treatments including zero fertilizer is probably due to the after-effect of cowpea, which was the previous crop (Table 1). Yields average analysis in relation with seed rates reveals that all treatments including simple seed rate were significant more productive with 880 kg ha⁻¹ compared to all treatments including double sowing rate with 652 kg ha⁻¹. Yields average analysis in relation with sowing arrangements reveals that all treatments including line sowing were not significantly different to those including all broadcast sowing treatments with respectively an average yield of 880 kg ha⁻¹ and 830 kg ha⁻¹. But both were significantly different than those including all hill dropping sowing (15x40 cm and 30x40 cm) treatments with 695 kg ha⁻¹.

At Farako, yield is ranking between 212 and 1424 kg ha⁻¹, with 710 kg ha⁻¹ average yield and 0.85 coefficient of repeatability (Table 4). Three following treatments were highly significantly more productive: mineral fertilizer*2 kg ha⁻¹seed rate*line sowing, mineral fertilizer*15 kg ha⁻¹ seed rate*broadcast sowing and mineral fertilizer*30 kg ha⁻¹seed rate* broadcast with 1390 kg ha⁻¹ yield paddy. Yield average analysis in relation with fertilization types reveals highly significant difference. All treatment including mineral fertilizers with 1015 kg ha⁻¹ yield paddy are the best. They were followed by all treatments including compost with 725 kg ha⁻¹ and all treatment including zero fertilizer with 350 kg ha⁻¹. Yield average analysis in relation with sowing rates reveals no significant difference between all treatments including double sowing rate with 744 kg ha⁻¹ and all treatment including single sowing rate with 652 kg ha⁻¹. Yield average analysis in relation with sowing arrangements reveals highly significant difference. All treatments including broadcast sowing with 870 kg ha⁻¹ are more productive following by all treatments including line sowing, with 709 kg ha⁻¹ and all treatments including hill dropping sowing (15x40 and 30x40) with 605 kg ha⁻¹.

At N'Tarla, yields is ranking between 350 and 1121 kg ha⁻¹, with 699 kg ha⁻¹ average yield and 0.78 coefficient of repeatability (Table 4). The best treatment is an interaction between mineral fertilizers* 30 kg ha⁻¹seed rate*broadcast sowing with 1121 kg ha⁻¹paddy yield. Yield average analysis in relation with fertilization types reveals that average yield of all treatments including mineral fertilizers had the highest significant average yield with 849 kg ha⁻¹. They were followed by those including compost with 725 kg ha⁻¹ and those including zero fertilizer with 501 kg ha⁻¹. Yield average analysis in relation with seed rate reveals that there is not significantly different between treatments including double seed rate with 730 kg ha⁻¹and treatment including single seed rate with 652 kg ha⁻¹. Yield average analysis in relation with sowing arrangement reveals a highly significant difference in favor of all treatments including broadcast sowing with 870 kg ha⁻¹. They were followed by treatments including all line sowing with 709 kg ha⁻¹ and those including hill dropping sowing (15x40 and 30x40 cm) with 630 kg ha⁻¹ paddy yield.

Table 4. Summary of analysis of variance results for paddy yields (kg ha⁻¹) at Cinzana, Farako and N'Tarla sites, 2021

	Cinzana (kg ha ⁻¹)	Farako (kg ha ⁻¹)	N'Tarla (kg ha ⁻¹)
Trial mean	775	697	692
High Yield	1005	1370	1121
Low yield	399	212	350
Worst treatment	T11	T23	T19
Best treatment	T6 et T22	T14, T15, T16	T16
Repeatability	0.54	0.78	0.85
LSD (5%)	400	598	301
CV%	15.56	25.88	13.12
Fertilization * Rate	S	HS	HS
Fertilization * Arrangement	HS	HS	HS
Arrangement*Rate	HS	NS	HS
Fertilization * Rate *Arrangement	HS	HS	HS

Multisite analysis in relation with fertilization types revealed highly significant difference. Treatments involving mineral fertilizers were the most productive (Figure 2), with an average yield of 863 kg ha⁻¹ and 10% higher than treatments involving compost (770 kg ha⁻¹) and 30% higher than treatments involving zero fertilizer (502 kg ha⁻¹). However, in mineral fertilization context, the two best treatments combined mineral fertilizer*15 kg ha⁻¹ seed rate*broadcast sowing, and mineral fertilizer*30 kg ha⁻¹ seed rate* broadcast sowing. In compost condition the best treatment are those combining compost*2 kg ha⁻¹ of seed rate*line sowing, and compost *30 kg ha⁻¹ of seed rate*broadcast sowing. In zero fertilizer context, the best treatment combined zero fertilizer*15 kg ha⁻¹ seed rate*broadcast sowing, and zero fertilizer*30 kg ha⁻¹ seed rate*broadcast sowing.

Multisite analysis involving sowing methods reveals highly significant difference. Best yields were obtained by treatments including broadcast sowing (figure 2) with an average of 846 kg ha⁻¹ followed by treatments including line sowing with 751 kg ha⁻¹ and treatments including hill dropping sowing with 643 kg ha⁻¹ (15x40 cm and 30x40 cm), either 10% and 30% gains respectively. In broadcast sowing context the best treatments combining broadcast sowing, mineral fertilizer and 15/30 kg ha⁻¹ seed rates. Their average yield is 1090 kg ha⁻¹. In line sowing context, best treatment to be recommended combine line sowing and mineral fertilizer with 15 and 30 kg ha⁻¹ of seed rate with 910 kg ha⁻¹ average yield.

Multisite analysis involving seed rates reveals that doubling seed rate does not affect yield (figure 2). The yield gain caused by doubling seed rate is very low, at 0.04%.

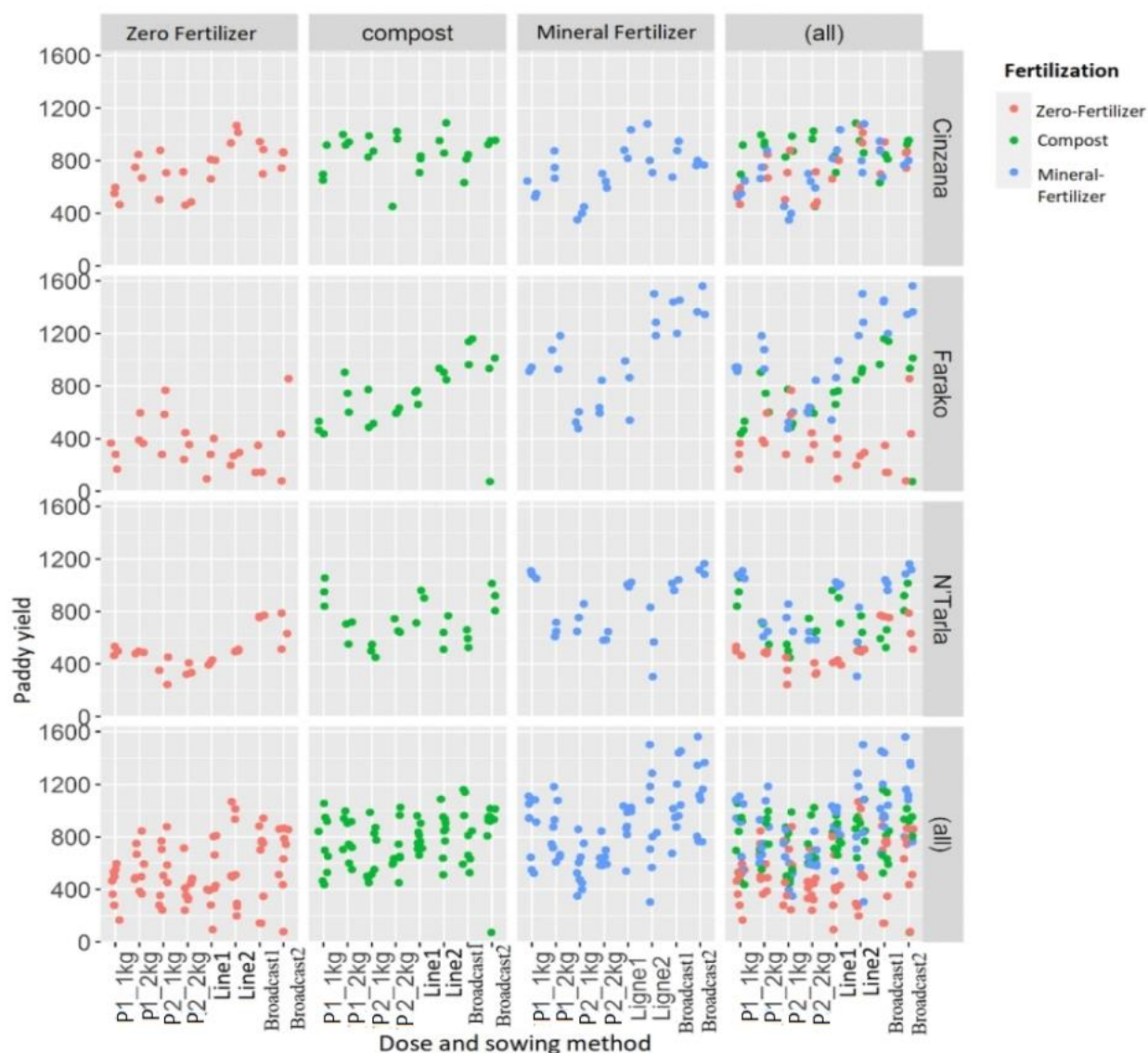


Fig. 2. Distribution of yields at different sites according to fertilization, sowing methods and rates

3.2 PLANTS DENSITY

Densities average varied from site to site with the highest at Cinzana, followed by Farako and N'Tarla (Table 6). At Cinzana, it's was 3,615,470 plants ha^{-1} with 83% coefficient of repeatability. The highest density, 18,037,037 plants ha^{-1} was obtained by treatment combining mineral fertilizers*30 kg ha^{-1} of seed rate*broadcast sowing. Densities analysis in relation with sowing rate reveals highly significate difference in favor of treatments including double sowing rate with 4,429,571 plants ha^{-1} were the densest, compared to 2,801,369 plants ha^{-1} obtained by treatments combining single sowing rate. Densities analysis in relation with sowing method reveals highly significate difference. The densest were treatments including broadcast sowing, with 10,543,210 plants ha^{-1} . These were followed by treatments combining line sowing with 2,617,283 plants ha^{-1} and those including hill dropping sowing (15x40, 30x40 cm) with 650,693 plants ha^{-1} .

At Farako, density average was 1,438,340 plants ha^{-1} with 64% coefficient of repeatability. There is highly significate difference. Highest density was obtained by treatment combining zero fertilizer*30 kg ha^{-1} seed rate*broadcast sowing. Density analysis in relation with sowing method reveals that treatments including broadcast sowing with 2,669,753 plants ha^{-1} were the densest followed by treatments combining treatment including line sowing with 1,979,938 plants ha^{-1} and those including hill dropping sowing with 551,833 plants ha^{-1} . Density analysis in relation with sowing rate reveals that treatments including double sowing rate were the densest with 1,635,368 plants/ha, followed by treatments combining single sowing rate with 1,051,611 plants ha^{-1} .

At N'Tarla, density average was 861,525 plants ha⁻¹ with 40% coefficient of repeatability. There is significant difference. Highest density was obtained by following treatments with an average density of 2,319,444 plants ha⁻¹: zero fertilizer*30kg ha⁻¹ seed rate*broadcast sowing, and mineral fertilizer*30 kg ha⁻¹seed rate*broadcast sowing. Density analysis in relation with sowing rates reveals highly significant difference in favor to treatments including double sowing, with 998,991 plants ha⁻¹. These were followed by all treatments combining single seed rate with 724,058 plants ha⁻¹. Density analysis in relation with sowing method reveals significant difference and treatments including broadcast sowing with 1,487,654 plants ha⁻¹ was the densest. These are followed by treatments combining line sowing with 909,464 plants ha⁻¹ and those including hill dropping sowing (15x40 cm and 30x40 cm) with 524,490 plants ha⁻¹

Table 5. Summary of results of analysis of variance of densities at Cinzana, Farako and N'Tarla sites, 2021

	Cinzana	Farako	N'Tarla
Trial mean	3 615 470	1 438 340	861 525
High density	18 037 037	4 046 296	2 333 333
Low density	484 027	390 555	194 444
Worst treatment	T20	T11	T21
Best treatment	T16	T24	T16 T24
Repeatability of plot value	83	64	40
Ppds (5%)	402524	116518	99464
CV%	25	30	36
Fertilization * Arrangement	HS	HS	HS
Fertilization * Seed rate	NS	NS	NS
Arrangement*Seed rate	HS	HS	HS
Fertilization*Seed rate*Arrangement	HS	HS	HS

Multisite analysis in relation with sowing arrangement reveals highly significant differences in favor of treatments involving broadcast sowing (Table 8). Following densities averages were obtained: 575,672 plants/ha for treatments involving hill dropping sowing (15x40 and 30x40cm), 1,835,562 plants ha⁻¹ for all treatments involving line sowing and 4,900,205 plants ha⁻¹ for treatments involving broadcast sowing, which achieved gains of 78% and 62% compared with the treatments involving respectively hill dropping and line sowing. A deeply analyze reveal that among broadcast sowing there is a significant difference between 30 and 15 kg ha⁻¹ seed rate. But among line sowing with 1 and 2 kg ha⁻¹ seed rate and hill dropping sowing with the same rates there is no significant difference between 1 and 2 kg ha⁻¹ seed rate. So, seed rate doubling affected only density of treatments including broadcast sowing. Ratios densities among sowing methods and seed rates are mention in Table 8.

Table 6. Comparison of plant densities according to sowing method and sowing rate

Mode	Rate (kg ha ⁻¹)	Average density	ratio with 15 kg (%)	ratio with 30 kg (%)
Line	2	1,883.058	45.00	71.00
Line	1	1,788,065	47.00	72.00
Hill	2	733,717	78.00	89.00
Hill	1	733,271	78.00	88.00
Broadcast	15	3,411,522		46
Broadcast	30	6,388,888		
Line	2	1,883,058	45.00	71.00

4 DISCUSSION

In terms of yield, significant differences were recorded in favor of treatments involving mineral fertilizers, with 361 kg ha⁻¹ difference compared to treatments involving zero fertilization (control). The purchase price of 20 kg of DAP and 10 kg of urea was 7,500 FCFA (approximately \$15) for non-subsidized fertilizers and 15,000 CFA (approximately \$30) for subsidized fertilizers. Depending on selling period, the price per kg paddy can vary from 150 CFA (approximately \$0.3) at harvest September to 200 CFA (approximately \$0.4) in December and reaching 300 CFA (approximately \$0.6) in June. Selling price of 361 kg supplement at 200 f/kg is 72,200 F (approximately 144\$) and 108,300 FCFA (approximately 217 \$) when 1kg paddy is sold at 300 FCFA. When fertilizer is subsidized, gross profits are respectively 64,500 FCFA (approximately 129 \$) and 100,800

FCFA (approximately 216 \$). On the other hand, when fertilizer is not subsidized, gross profits are 57,000 FCFA (approximately 114 \$) and 93,300 FCFA (approximately 187\$) respectively.

Studies achieved in West Africa have been focus on mineral, organic and organic-mineral fertilizations impact on paddy yield and rarely on factorial trial combining fertilization types, seed rates and sowing methods. Otherwise, fertilization rate recommended on fonio crop in West Africa is similarly to those applied on millet and sorghum [18], [24] contrary to the small rates that we applied in this study. When we take into account the above-ground biomass produced by millet and fonio, we can deduce that there is overdosing with application of fertilizer rates for tall cereals on fonio. Furthermore, the low income of small producers and the high cost of mineral fertilizers mean that the recommendations made with high rates cannot be adopted by farmers. Studies in sub-region concluded on the agronomic profitability of fertilization compared to zero fertilization but without making a financial profitability analyze. Our agronomics results are similar with those obtained by [15]. They conclude a good response of Flooded Lowland Rice when we applied moderate fertilization rate.

Depending on fertilization context, producers who apply zero fertilization, choice of sowing method and seed rate did not affect yield. However, at Cinzana site with cowpea as previous crop, zero fertilization associated with broadcast sowing with 30 kg ha⁻¹ seed rate had a similar yield to that involving mineral fertilizers application. In agro-ecological context, cowpea rotation with fonio can be a good and sheep alternative to mineral fertilizers utilization in context of rarefaction and higher prices of mineral fertilizers. For producers who use compost, the best treatments combine broadcast sowing with seed 15 kg ha⁻¹ seed rate and line sowing with a seed rate of 2 kg ha⁻¹. For producers who apply mineral fertilizers, the best productive treatments combine broadcast sowing with 15 and 30 kg ha⁻¹ seed rate.

Sowing rates impact evaluation on paddy yields showed no significant difference on yield. Doubling seed rate did not increase significantly yield paddy, whatever fertilization type and sowing method. Work carried out in the sub-region on the comparison of seed rates has focused on broadcast sowing, line sowing and hill dropping sowing.

Sowing methods impact evaluation on paddy yield reveal significant difference in favor of treatments including broadcast sowing and treatments including hill dropping sowing were least productive. Work carried out in the sub-region based solely on the comparison of line and broadcast sowing produced divergent results. Reference [19], found significant differences in favor of line sowing while [23] found significant differences in favor of broadcast sowing followed by line and hill dropping. In these various studies, authors used either the same quantities of seed for line sowing and broadcast sowing, or higher rates for line sowing [20] those choices can penalize performance of line sowing due to high competition between the plant on the same line. In our study 1 and 2 kg ha⁻¹ seed rate were used for line and hill dropping sowing and 15 and 30 kg ha⁻¹ for broadcast sowing. Reference [16] recommended 15 and kg ha⁻¹ for broadcast sowing. Reference [16] also mentioned lower seed rates of 5-10 kg ha⁻¹ for line sowing. In Benin, recent work with line sowing increase paddy yield of around 150 kg to 200 kg ha⁻¹ compared with broadcast practice [19].

Plant density evaluation revealed that highest densities were obtained by treatments involving broadcast sowing, followed by treatments involving line sowing and hill dropping sowing, with density gains of 56% over line sowing and 90% over hill dropping sowing. The high densities of treatments involving broadcast sowing are due to the higher seed rate used, 15 and 30 kg ha⁻¹ rate against 1 and 2 kg ha⁻¹ rates for line and hill dropping sowing. Density evaluation in sub-region showed that broadcast sowing obtained the highest plant densities, followed by line sowing and hill dropping sowing [23] (Siena L.A C et al., 2020, [18] C. Kanlindogbe et al, 2020; [16] Gueye M.M (2016).

5 CONCLUSION

Study allowed to identify the bests treatments and to make specific recommendations according to different production context in relation with fertilization type, sowing arrangement and seed rate. In agro-ecological intensification context, Cinzana's results highlighted the role of cowpea in increasing fonio yields. A rotation cowpea with fonio could be an alternative to mineral fertilizers utilization.

The best productive treatments combine mineral fertilizers, broadcast sowing with 15 and 30 kg ha⁻¹ rates effects. Densities and yields for treatments including hill dropping sowing and line sowing were significantly lower than those including broadcast sowing, respectively with 89% for density and 30% for yield concerning hill dropping sowing and 72% for density and 10% for yield treatments including line sowing (Table 8). This means that the probability to increase line sowing yield is three time greater than hill dropping sowing yield. Density is generally correlated with yield, adjustments in seed quantity for line sowing are necessary to achieve significantly higher yields than treatments including broadcast sowing. Increases of seed rate is 72% for line sowing, either 1.44 kg ha⁻¹. These adjustments give us 3.44 kg ha⁻¹ for line sowing. This rate can be adjusted to 4 kg ha⁻¹. This suggestion is close to 5 at 10 kg ha⁻¹ recommended by [19] for line sowing. To minimize intra-line competition, spacing between lines can be reduced by 10 cm, either 30 cm between lines instead of 40 cm to increase line number by hectare. This

new spacing is better suited to use human-drawn Indian hoe for weeding. Further research are needed to facilitate recommendations disseminate. The first will be focus on line sowing yield evaluation with spaced at 30 cm at 4 kg ha⁻¹ seed rate. The second will focus on the development of suitable line sowing equipment and weeding fonio. Equipment can be manual or animal-drawn. Whatever the type of equipment should be multi-line to minimize time spending to sowing and weeding. Finally, the third will quantify the after-effect of legumes (peanut and cowpea) on fonio yield in legume rotation with fonio.

REFERENCES

- [1] Adoukonou-Sagbadja, H. «Genetic Characterization of Traditional Fonio Millets (*Digitaria Exilis* D. Iburua STAPF) Landraces from West-Africa: Implication for Conservation and Breeding». *Justus-Liebig University Giessen*. 2010.
- [2] Adoukonou-Sagbadja, H., et al. « Indigenous Knowledge and Traditional Conservation of Fonio Millet (*Digitaria Exilis*, *Digitaria Iburua*) in Togo». *Biodiversity Conserv*, p. 15: 2379-2395. 2006.
- [3] Ahmed, HMI, et al. «Seed Systems for Underutilized Crops». *Acta Hort*, p. 2: 459-464, 2009.
- [4] Ayanan, AMT, et al. «Harnessing Genetic Resources and Progress in Plant Genomics for Fonio (*Digitaria* Spp.) » Improvement. *Genetic Resources and Crop Evolution*, p. 65 (2): 1-14, 2018.
- [5] Ayanan, AMT, and VA Ezin. « Potential of Kersting ' s Groundnut [*Macrotyloma Geocarpum* (Harms) Maréchal & Baudet] and Prospects for Its Promotion». *Agric Food Secur*. p. 5: 1-9, 2016.
- [6] Béavogui, F., et al. «Typologie Des Systèmes de Production et Des Systèmes Post-Récolte Du Fonio En Guinée», Livrable 1. Projet Aval Fonio, Amélioration de l'après Récolte et Valorisation Du Fonio En Afrique. *IRAG*, 2017.
- [7] Dachi, SN, and AS Gana. «Adaptability and Yield Evaluation of Some Acha (*Digitaria Exilis* And *Digitaria Iburua* Kippis Stapf) Accessions at Kusogi-Bida». *African J Gen Agric*, p. 4: 73-77.
- [8] Cissé, I. B. «La Culture de Fonio et Quelques Aspects Éco-Physiologiques de La Plante». 1975.
- [9] Cruz, J. F., F. Béavogui, et al. «Le Fonio, Une Céréale Africaine.» *Versailles, France : Éditions Quæ ; Wageningen, Pays-Bas : CTA ; Gembloux, Belgique : Presses Agronomiques de Gembloux*, <https://doi.org/doi.org/10.35690/978-2-7592-1040-4>, 2011.
- [10] CPS/SDR: Cellule de Planification et de Statistique du Secteur du développement Rural Rapport campagne 2021.
- [11] Cruz, J. F., B. Dupuis, et al. «Étude Bibliographique : Inventaire Des Connaissances En Termes de Variétés Cultivées En Guinée, Au Mali et Au Burkina Faso et Inventaire Des Connaissances En Termes de Systèmes de Culture Incluant La Production de Fonio Dans Ces Trois Pays : Projet N°015403 FONIO. Amélioration de La Qualité et de La Compétitivité de La Filière Fonio En Afrique de l'Ouest.» *Montpellier, France : Cirad*, 2007.
- [12] Diallo, T. A., et al. «Catalogue de Quelques Écotypes de Fonio de Guinée, Du Mali et Du Burkina Faso. Projet Fonio. In : Cruz J.-F., Ed. Amélioration de La Qualité et de La Compétitivité de La Filière Fonio En Afrique de l'Ouest [CD-Rom].» *Montpellier, France : Cirad*, p. 45, 2008.
- [13] FAOSTAT. Agricultural Production, Crop Primary Database. *Food Agric. Organ. United Nations.*, <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>, 2017.
- [14] Gigou J, Stilmant D, Diallo AT, Cissé N, Sanogo MD, Vaksman M, Dupuis B. « Fonio millet (*Digitaria exilis*) response to N, P and K fertilizers under varying climatic conditions in West Africa». *Experimental Agriculture* 45: 401–415, 2009.
- [15] Gebrekidan Heluf and Mulugeta Seyoum. Effects of Mineral N and P Fertilizers on Yield and Yield Components of Flooded Lowland Rice on Vertisols of Fogera Plain, Ethiopia, *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 107 (2): 161-176, 2006.
- [16] Gueye, M. M. «Amélioration Des Techniques de Semis, de Fertilisation et de Récolte Du Fonio Blanc (*Digitaria Exilis*, Poaceae) Au Sénégal Oriental et En Casamance (Sénégal).» *Thèse de Doctorat Biologie, Physiologie et Production Végétales*, Feb. 2016.
- [17] Hillocks, R. J., Raya, M. D. and Thresh, J. M. The association between root necrosis and above-ground symptoms of brown streak virus infection of cassava insouthern Tanzania. *International Journal of Pest Management* 42, 285 – 289, 1996.
- [18] Kanfany, Ghislain. «Effets de La Fertilisation Organo- Minérale Sur La Croissance et Le Rendement Du Fonio.» *DEA Ecole Nationale Supérieure d'agriculture de Thiès/Sénégal*, 2009.
- [19] Kanlindogbe, C., E. Sekloka, R. Ayelesso, et al. «Évaluation Participative Des Types de Semis et de l'écartement En Culture de Fonio (*Digitaria Exilis* Stapf.) Au Bénin.» *Journal Scientifique Européen Vol.16, N°3 ISSN : 1857– 7881 (Imprimé) e - ISSN 1857- 7431*, 2020.
- [20] Kanlindogbe, C., E. Sekloka, V. A. Zinsou, et al. «Diversité Des Techniques et Pratiques Culturelles Du Fonio (*Digitaria Exilis* S.) En Afrique de l'Ouest (Synthèse Bibliographique).» *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, ISSN 1370-6233, e - ISSN 1780-4507*, 2020.

- [21] Koreissi-Dembélé, Y., et al. «Fonio (Digitaria Exilis) Landraces in Mali : Nutrient and Phytate Content, Genetic Diversity and Effect of Processing». *Food Compos Anal*, p. 29: 134-143, 2013.
- [22] Munier-Jolain, N. M., et al. «Multi-Criteria Evaluation of Cropping Systems Prototypes Based on Integrated Weed Management.» *13 Ème Colloque International Sur La Biologie Des Mauvaises Herbes, Dijon, 8-10 Septembre*, pp. 1–10, 2009.
- [23] Siéné, L. A. C., et al. «Évaluation de l'effet de Trois Modes de Semis Sur La Croissance et La Productivité Du Fonio, (Digitaria Exilis (Kippist) Stapf) Dans La Commune de Korhogo En Côte d'Ivoire.» *International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN*, vol. 2351-8014 Vol. 50 No. 2, pp. 138–47, 2020.
- [24] Somda, B. B., et al. «Détermination Des Doses Optimales de Fumures Organo-Minérales En Microdose Dans La Zone Soudano-Sahélienne Du Burkina Faso.» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11 (2), pp. 670–83, 2017.
- [25] Vall, A. N., et al. «Les Cultures de Soudure Comme Stratégie de Lutte Contre l'insécurité Alimentaire Saisonnière En Afrique de l'Ouest: Le Cas Du Fonio (Digitaria Exilis).» *Cahiers Agricultures*, vol. 20 (4), pp. 294–300, 2011.
- [26] Vall, E., et al. «Options Pour Le Développement de La Production de Fonio, l'amélioration de La Productivité et de La Compétitivité : Projet N°015403 FONIO. Amélioration de La Qualité et de La Compétitivité de La Filière Fonio En Afrique de l'Ouest». Bobo-Dioulasso, Burkina Faso : *CIRDES*. 2008.
- [27] Vodouhè, S. R., et al. «Fiche Technique-Fonio En Guinée CRA Bareng, Actes Du Premier Atelier Sur La Diversité Génétique Du Fonio (Digitaria Exilis) En Afrique de l'Ouest, Conakry, Guinée.» *Rome : Institut International Des Ressources Phytogénétiques (IPGRI)*, pp. 68–69, 2003.

Effets de la dynamique urbaine d'une ville subsaharienne: Cas des limites de Mbujimayi en République Démocratique du Congo

[Effects of urban dynamics in a sub-saharan city: Case of the limits of Mbujimayi in the Democratic Republic of Congo]

Pierre Mpoyi Ndolo Loy¹, Donatien Bukome Itongwa², and John Tshibangu Wa Ilunga²

¹Institut Supérieur Pédagogique de Mbujimayi, Mbujimayi, 682 Kasai-Oriental, RD Congo

²Department de Géographie et Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, 1825 Haut-Katanga, RD Congo

Copyright © 2025 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: Mbujimayi, a post-colonial city in the Democratic Republic of Congo, is experiencing urbanization characterized by the absence of forward-looking planning, which has led to land speculation and the anarchic occupation of urban space. This article proposes to analyze the urban dynamics of the 1950 and 1960 urban space (between 1950 and 1960) and the spontaneous space, more than 60 years after its independence (from 1960 to 2020). The unprecedented population growth of Mbujimayi from 21875 inhabitants in 1950 to 3490211 inhabitants in 2020, mainly following the repression of the Shaba (Katanga) to the Kasai of the Baluba – Lubilanj and other ethnic groups in 1992, has caused the total consumption of the base of the Mbujimayi area with an overflow of the area. The latter has reached 145.80 km² in fact, including 106.86 km² of legal area. Thus, the extension of the city of Mbujimayi blocked by the natural limits (the rivers Muya in the north, Kanshi in the south and Mbuji-Mayi in the east) was built only in its western part, in the commune of Bipemba. It has created two boundaries, one legal which remains immutable, and the other de facto which is mutable in the Mulenda and Mukumbi sectors of the territory of Lupatapata. The coexistence of these two boundaries legally creates a biased situation in the delimitation of this city.

KEYWORDS: urban dynamics, limits, postcolonial cities.

RESUME: Mbujimayi, ville postcoloniale de la République Démocratique du Congo connaît une urbanisation caractérisée par l'absence d'une planification prévisionnelle qui a conduit à une spéculation foncière et l'occupation anarchique de l'espace urbain. Cet article se propose d'analyser la dynamique urbaine depuis l'apparition de l'espace urbain planifié (entre 1950 et 1960) et de l'espace spontané, de plus de 60 ans après son indépendance (de 1960 jusqu'en 2020). La croissance démographique sans précédent de Mbujimayi passant de 21875 habitants en 1950 à 3490211 habitants en 2020, consécutive surtout au refoulement du Shaba (Katanga) vers le Kasai des Baluba –Lubilanj et d'autres ethnies des années 1992, a occasionné la consommation totale de l'assiette de l'espace de Mbujimayi avec un débordement de la superficie. Cette dernière a atteint 145,80 Km² de fait, y compris 106,86 Km² de superficie légale. Donc, l'extension de la ville de Mbujimayi bloquée par les limites naturelles (les rivières Muya au nord, Kanshi au sud et Mbuji-Mayi à l'est) s'est faite uniquement dans sa partie ouest, commune de Bipemba. Elle a engendré deux limites, une légale qui reste immuable, et l'autre de fait qui est muable dans les secteurs de Mulenda et Mukumbi du territoire de Lupatapata. La coexistence de ces deux limites crée juridiquement une situation biaisée dans la délimitation de cette ville.

MOTS-CLEFS: dynamique urbaine, limite, ville postcoloniale.

1 INTRODUCTION

Les multiples conflits armés, non armés et les récurrentes crises socio-économiques qui affectent l'Afrique, provoquent l'exode rural dans ce continent où, les croissances démographiques et urbaines non maîtrisées défient aux tons divers, d'une région à l'autre, les pratiques adéquates d'aménagements des territoires. Cela se traduit par une désertification d'espaces ruraux et la bidonvilisation prononcée dans les grands centres urbains [1]. La radicalisation de ce phénomène résulte de la conjugaison de cinq facteurs: l'instabilité politique, la mauvaise gouvernance, l'urbanisation rapide dans les pays du tiers monde, le manque d'emplois urbains décents et les insuffisances de la planification et de la gestion des villes [2], [3]. Qui ont beaucoup changé depuis quelques décennies aussi bien à leurs périphéries proliférantes ou à leur centre en crise [4].

Dans cette transformation, l'action du pouvoir public rate de jouer un rôle déterminant en République Démocratique du Congo, malgré l'augmentation rapide de la proportion de sa population urbaine (42% en 2015) et le taux moyen de croissance de ces villes de 4,1% [5]. Cela peut être entrevu via les diverses manières (temporelle ou spatiale) d'envisager la dynamique [6], [7]. Le pays aux multiples schémas et plans d'urbanisations en évolutions libres, connaît des distorsions importantes dans ses marchés fonciers. Qu'il ne parvienne pas à rentabiliser la gestion des droits fonciers et immobiliers, la valorisation et la gestion des terres, ainsi que la coordination de l'aménagement du territoire et la planification urbaine pour atténuer les effets négatifs de la dynamique spatiale des villes [8], [9].

Outre ce qui précède, notre contribution a portée sur l'analyse de la dynamique urbaine de la ville poste coloniale de Mbuji-Mayi. L'étude s'est focalisée sur la situation de l'évolution de ses limites. Selon [10] pour comprendre la ville aujourd'hui, il faut prendre en compte sa morphologie et son plan. Ce postulat s'était avéré être dépassé dans le contexte de notre zone de recherche, où, la dynamique urbaine s'est fait accompagner d'une modification remarquable de l'assiette urbaine. Alors qu'on sait que le terme « dynamique urbaine » évoque la croissance démographique et spatiale sans mutation géométrique de l'assiette urbaine. Cela laisse entrevoir que la question de la délimitation de l'assiette urbaine est moins soulevée dans les recherches scientifiques en aménagement du territoire en République Démocratique du Congo, où, ce phénomène devient récurrent et génère les effets préoccupants.

Cela conduit à une situation floue, mettant en conflit les gestionnaires fonciers des circonscriptions urbaines et rurales comme c'est le cas entre le quartier Kabongo wa Misasa et le village Bena Ntumba. Ces circonscriptions sont confrontées à des problèmes de tout genre, tel que le conflit des terres et d'utilisation d'autres ressources, la fourniture des statistiques erronées suite à l'incohérence de la fixation, détermination et connaissance de la population et de son aire d'occupation. Ce qui rend complexe l'élaboration des projets de développement dans une ville où l'on observe que les risques naturels (érosions ravines, etc.) remodelent aussi les limites des entités administratives. Ce qui rejoint les propos de [11] disant que les limites mal connues et non bien fixées deviennent une cause de disputes entre les circonscriptions territoriales. [12] le dit en ce terme: « le pouvoir sur l'espace est parfois partagé ou disputé avec des institutions territoriales d'autre nature ».

Cet article a pour objectif: - d'effectuer une analyse spatio-temporelle de l'évolution des limites de Mbuji-Mayi et de produire une carte de l'état de lieu; - de sensibiliser les acteurs publics et privés sur la nécessité de déterminer et marquer nettement de limites des entités municipales et urbaines, en dotant la ville d'un outil décisionnel et; - d'éclairer tous ceux qui s'intéressent à l'urbanisation et à la consommation de l'espace, l'un des éléments passionnants de la géographie urbaine. Cela compléterait l'étude de [13] sur le mécanisme d'appropriation territoriale et de la conflictualité qui en découle dans le grand Kasai. Dans sa démarche, l'auteur s'est basé sur l'analyse des déterminants institutionnels et socioéconomiques de l'organisation spatiale. Avec la démocratisation d'outils géospatiaux, cette méthode est actuellement combinée avec la télédétection et les SIG lorsque le but est d'évaluer la dynamique urbaine [6], [9], [14]. Dans le contexte de la reconstitution urbanistique d'une architecture pionnière le recours aux anciens plans d'urbanisation est indiqué [15].

La présente étude concerne le territoire de Mbuji-Mayi qui s'étend sur 146 km² représentant 1,53 % de la superficie de la province du Kasai-Oriental. Elle a fait recours aux outils: Système d'Information Géographique (SIG), télédétection, enquêtes et analyse spatiale pour une cartographie dynamique de délimitation de la ville de Mbuji-Mayi de l'époque coloniale à nos jours. La recherche a exploité les anciens plans élaborés par la Forminière, les images Google Earth, les données de levé terrain et d'enquêtes en utilisant des méthodes telles que la photo-interprétation, la superposition et l'algèbre cartographique pour éliminer les biais entre les jeux de données et faire leurs comparaisons évolutives dans un environnement SIG qui a facilité la mise en conformité des données et l'analyse dynamique des limites urbaines.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 SITE D'ETUDE

Le site d'études est Mbuji-Mayi, ville postcoloniale (voir la figure 1). Selon [16], [17], Bakwanga, à l'époque coloniale, n'existait comme une ville. Ce n'était qu'un petit poste minier, pas même une agglomération urbaine, ni un centre extra-coutumier, ni une ville. C'est la conséquence de la politique mise en place par l'Etat colonial qui, d'après [18], avait conduit à l'établissement des zones de contrôle et de surveillance autour des sites miniers, d'où la création à Bakwanga de deux zones « A » et « B ». Ainsi, la zone « A », zone protégée, est dite Bakwanga qui englobait le chantier d'exploitation, traitement et production du diamant, et le territoire actuel de la ville de Mbuji-Mayi comprenant en dehors du quartier colonial pour les Blancs et du camp pour travailleurs noirs construits en 1954, est une brousse jusqu'aux endroits limitatifs comme la ligne joignant les points de contrôle et la zone « B » est contiguë à la première.

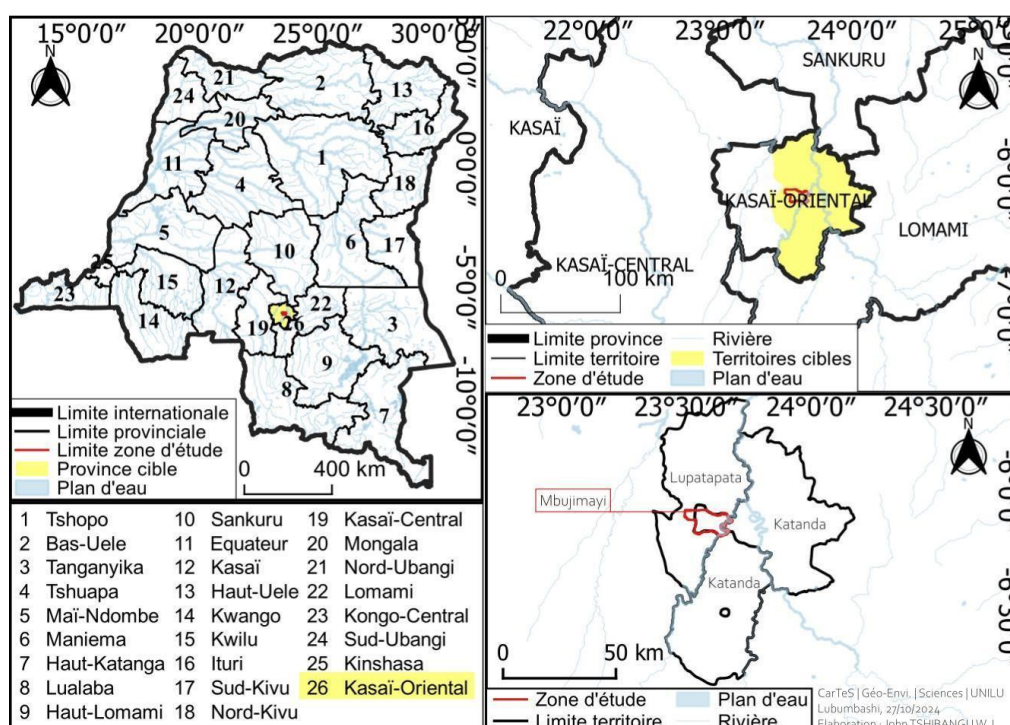


Fig. 1. Situation de la ville de Mbuji-Mayi

Selon [19], après la colonisation, Bakwanga devenu Mbuji-Mayi en 1963, fut successivement la capitale de de l'Etat minier ou Etat Autonome du Sud-Kasai proclamé le 8 août 1960 par les propos d'A. Kalonji à Elisabethville, le chef-lieu de la province du Sud-Kasai reconnue par la loi du 14 août 1962, le chef-lieu de la province du Kasai-Oriental selon l'Acte juridique de la création de la province du Kasai-Oriental: Ordonnance-Loi n° 66-205 du 06 avril 1966 qui fut complétée par l'Ordonnance-Loi n° 67-221 du 03 mai 1967. Mais en 1968, Mbuji-Mayi, sur base auparavant de l'ordonnance – loi n° 67-177 du 10 avril 1967, modifiée par l'ordonnance-loi n°68-018 du 12/01/1968 et complétée par n°68-022 bis du 19/01/1968 qui avaient organisé à la fois les structures territoriales administratives et politiques des provinces congolaises, a eu le statut de ville que lui reconnaît l'ordonnance-loi n°68-180 du 11/04/1968 avec l'arrêté ministériel n°083 du 04 mai 1968 portant mesures d'exécution de cette ordonnance. Ladite ordonnance en détermine aussi les limites de la ville de Mbuji-Mayi. On a : – Au Nord, la rivière Muya à partir du point de confluence des rivières Lupemba et Muya jusqu'au point de confluence des rivières Muya et Mbuji-Mayi; – Au Sud, la rivière Kanshi à partir du point de sa confluence avec la rivière Mbuji-Mayi jusqu'au point de sa confluence avec la rivière Nzaba; – A l'Est par la rivière Mbuji-Mayi limitée par les points de confluence respectifs Muya et Mbuji-Mayi, Mbuji-Mayi et Kanshi; – A l'Ouest par la ligne reliant les points de confluence Lupemba et Muya au nord et Nzaba et Kanshi au sud. Toutefois, ces limites cadrent toujours avec la délimitation de l'agglomération de Bakwanga/ Mbuji-Mayi fixée par la Forminière comme zone « A ». Donc ces limites de Mbuji-Mayi demeurent jusqu'à ce jour en référence de l'article 52 de l'ordonnance-loi n° 82-006 du 25 février 1982.

2.2 MATERIELS

Pour l'élaboration de cartes pour cette étude, nous nous sommes servis des études de: 1) [20], [21] ayant exploité le SIG respectivement comme les outils de localisation et de description de l'étalement urbain dans l'Etat de Kentucky aux Etats-Unis, et comme méthode d'analyse de la dynamique spatio-temporelle des agglomérations à Alger; 2) [22] qui a utilisé la méthode de la classification sur une image satellitaire pour la cartographie et évaluation multi-échelle de l'étalement urbain à Mans.

L'usage des planches topographiques et de la carte générale de la ville de Mbujimayi élaborées par la MIBA et en plus une carte politico-administrative subdivisée en 5 communes ayant dans leur ensemble 167 quartiers, nous a permis d'élaborer les cartes. La localisation et les levés de données récentes relatives aux limites se sont faits avec le GPS Garmin de poche et l'exploitation d'outils géospatiales Google Earth pro, OSM et le logiciel SIG QGIS 3.2 ont permis de faire, sur des données spatio-temporelles dans le SIG, la combinaison des données de terrain à la photo interprétation, la numérisation de fonds des cartes et des images diachroniques. Une couche relative à l'évolution des limites administratives a été créée pour les périodes: 1950-1960; 1960-1965; 1965-1970; 1970-1985; 1985-1994 et 1994-2020, couvertes par cette recherche. La superposition des couches, une production de la carte dans le SIG de la dynamique urbaine de la ville de Mbujimayi a rendu facile l'analyse du phénomène observé.

2.3 METHODES

Pour atteindre l'objectif de cet article, nous avons fait recours aux méthodes descriptive et explicative. Ces méthodes sont appuyées par différentes techniques notamment documentaires, observations et enquête. Cette dernière a été menée auprès de 173 personnes dont un maire de la ville, 5 bourgmestres et 167 chefs de quartiers. Ces personnes nous ont permis de comprendre que Mbujimayi a deux limites, légale et de fait que nous avons visitées pour palper cette réalité.

3 RESULTATS

3.1 CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE

La ville de Mbujimayi (ancien Bakwanga) a connu une croissance démographique bien remarquable. La population de Mbujimayi de 1950 à 2020 se met en évidence, en 1950, elle était de 21875 habitants; et en 2020 elle avait atteint 3490211 habitants. Donc, dans 70 ans, cette population a été multipliée par 159,55. Mais c'était au cours des années 1992 que cette ville a connu un accroissement de la population entraînant un dépassement d'un million d'habitants

3.2 CROISSANCE SPATIALE

Il s'agit ici, de l'analyse de l'évolution de l'espace urbain à Mbujimayi, de 1950 à 2020.

3.2.1 PROCESSUS ÉVOLUTIF DE LA CONSOMMATION DE L'ESPACE

L'urbanisation de l'espace mbujimaïen, commencée à l'époque coloniale, grâce à l'implication et aux réalisations de la Mibeka, dans le terroir de Bakwanga, a occasionné la consommation de l'espace qui se situe à deux étapes: la période coloniale et la période postcoloniale.

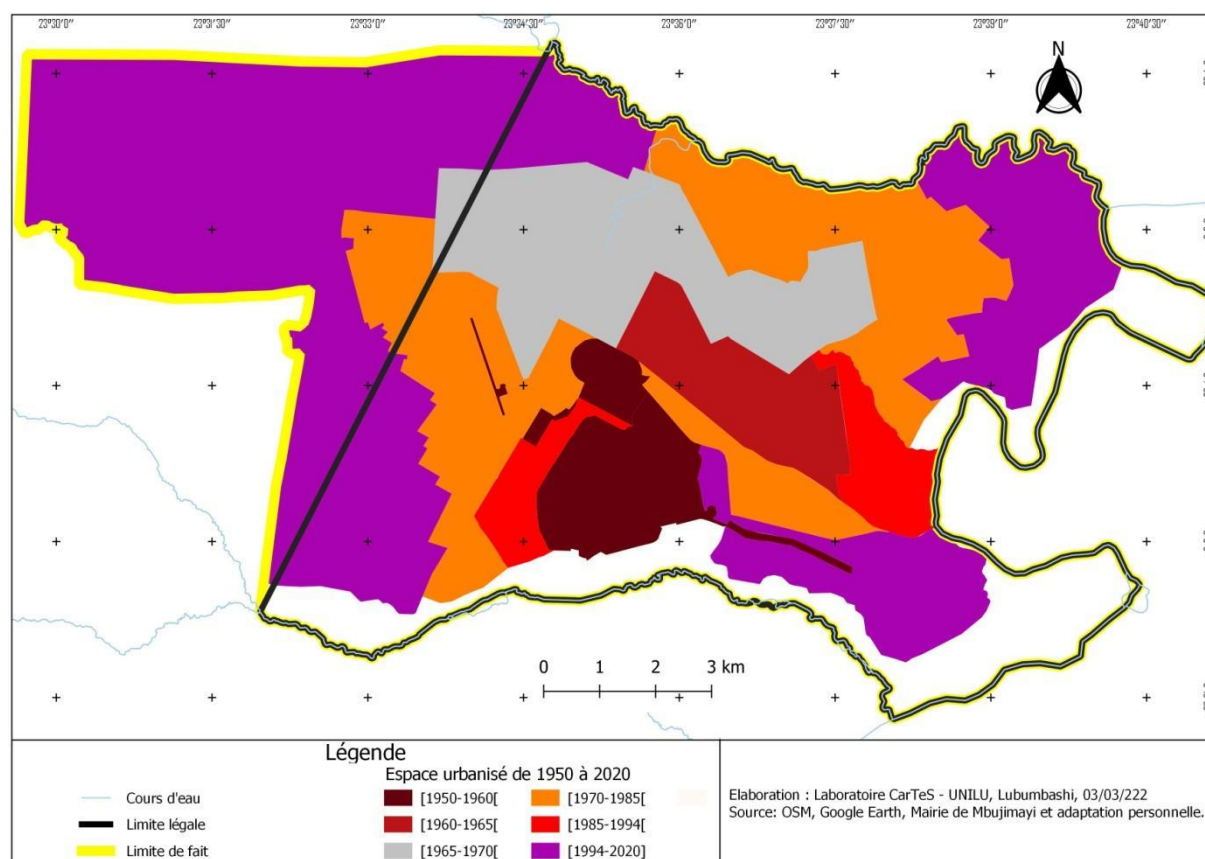


Fig. 2. Evolution de la consommation de l'espace urbain de Mbujimayi

A. Bakwanga de [1950 – 1960 [

Avant 1950, l'espace de Mbujimayi n'était qu'une constellation des villages de Bakwa Nyanguile, un des clans de Bakwanga (une des tribus de Luba-Lubilanji). A partir des années 1944 s'amorçait le processus d'appropriation du foncier de Bakwa Nyanguile par la Mibeka qui, avait confié la charge de faire l'érection du camp des travailleurs (constructions du quartier résidentiel pour le personnel cadre et celles de cités pour les ouvriers) à la Forminière. Selon [15], Guillaume Serneels avait construit « le poste résidentiel » destiné aux Européens et plusieurs quartiers nommés « baudines » destinés aux ouvriers « indigènes » de la Forminière. Ce qui traduisait les conceptions coloniales ségrégationnistes largement dominantes à l'époque, visant à planifier séparément les quartiers destinés aux populations européennes des quartiers destinés aux ouvriers « indigènes ».

Ces constructions entamées depuis 1949, ont duré plus ou moins dix ans selon la planification de l'entreprise de l'architecte Guillaume Serneels chargée de cette tâche. Ceci a constitué un espace urbain d'une partie du territoire de Bakwa Nyanguile (actuel Mbujimayi).

B. Bakwanga de [1960 – 2020]

Au cours de la période de 1960 à 2020, l'espace de Mbujimayi connaît la spontanéité mettant en évidence les dimensions urbaines notamment l'étalement, l'expansion et l'extension.

1) [1960 – 1965 [

Cette période est marquée par:

- L'occupation des zones tampons entre le camp des travailleurs Miba et les villages Bakwanga Nyanguile par les refoulés à Bakwanga venus de l'ouest du Kasai était due à la contribution évidente de la Forminière par l'octroi des maisons, des voitures et la mise des fonds à sa disposition de A. Kalonji, ayant permis à l'Etat autonome du Sud-Kasai de démarrer [23], [19].

- La solution au problème de bidonvilisation créé par l'urbanisation massive fut le premier lotissement de l'agglomération de Mbujimayi qui avait duré de 1963 à 1965. C'était à Bakwa Dianga où le lotissement avait commencé. Il était effectué par les agents de cadastre accompagnés de militaires armés pour anéantir l'opposition des autochtones Bakwa Nyanguile. Ceux qui avaient osé, étaient arrêtés et gardés au cachot. L'exécution de ces travaux était supervisée par le gouverneur de province de l'époque Joseph Ngalula d'où son surnom « Mpanda njila » traceur de routes.

2) [1965 – 1970]

Au cours de cette période, Mbujimayi acquiert effectivement le statut de ville en 1968. La consommation de l'espace a été particulièrement très accentuée dans la grande partie de la commune de Diulu 1 et une partie de Diulu 2 devenu par la suite Bipemba. C'est l'amorce du débordement de la limite légale de la ville dans sa partie ouest, la commune de Bipemba. C'est le début du combat contre ce système d'occupation anarchique. La consommation de l'espace avait fait un bond de géant en portant la superficie urbanisée à 51,90 km². Le reclassement de la population avait posé des problèmes dans les quartiers lotis.

3) [1970 – 1985]

Cette période, d'après [24], correspondait à l'étude du plan directeur de la ville amorcée par le Secrétariat de mission d'études d'urbanisme et d'habitat (S.M.U.H.), organisme français sur convention signée par le gouvernement congolais représenté par le ministre des Travaux Publics et Aménagement du Territoire (TP/AT) et le SMUH (convention n° 24/04/015.2197 du 06/01/1970. C'est la restructuration de Squatting « Biasasa » dans les communes Bipemba, Dibindi, Kanshi et Muya, par l'administration. Et la poursuite du débordement de la limite légale dans la commune de Bipemba se fait encore. Ceci ne cadre pas avec l'écrit de [25] qui dit que tant que la puissance publique aménage l'espace par lotissement de son domaine, il est normal de continuer à parler de lotissement, malgré la consonance quelque peu désuète de cette appellation et, somme toute, quelque peu dangereuse dans la mesure où cette dénomination met l'accent sur la procédure foncière de découpage du sol au détriment du travail d'organisation de l'espace et d'équipement.

La superficie de la ville de Mbujimayi occupée avait plus doublé passant de 51,90 km² à 108,35 km². Ce qui vient confirmer les propos de [26] disant que faute de planification urbaine, les villes s'étalent.

4) [1985 – 1994]

Au cours de cette période, depuis 1984, le biasasa et les villages autochtones Bakwa Nyanguile proprement dits avaient disparu sur le territoire de Mbujimayi. La commune de Dibindi a aussi connu de nouveau la restructuration de Biasasa dans le quartier Kasavubu. L'occupation des zones tampons restantes de la Miba: Tubondo (corbeille de plantules); le lotissement du terrain Tshiatshiatshia compris entre le camp militaire N'sele et le quartier Tshikisha; le terrain où y est érigé le lycée Tuya Kumpala des Sœurs Thérésiennes; le terrain du côté Sud-Est de l'ISP jusqu'au couvent des Pères de Scheut, loti en 1993. La superficie est estimée à environ 135 km².

5) [1994- 2020]

Suite au refoulement du Shaba (Katanga) vers le Kasaï des Kasaïens et autres ethnies, l'agglomération de Mbujimayi a connu une explosion démographique. Cette période a connu une consommation de l'espace très remarquable du fait de la conséquence de ce refoulement. L'assiette géographique de la ville de Mbujimayi dévoile aujourd'hui une complète utilisation du site. Mais à cause de ses limites naturelles, l'extension s'est poursuivie facilement à l'ouest jusqu'au village de Ilunga Lusanga.

3.2.2 PROCESSUS ÉVOLUTIF DE L'ESPACE URBANISÉ

De 1950 à 2020, soit septante ans, l'espace urbanisé pour Mbujimayi a atteint 130,5536 Km² de superficie. Mais ce qu'on doit savoir de cette superficie, la période [1950-1960] est marquée par l'espace urbain de la Forminière qui, avait atteint 8,00972 Km² soit 6,14 % de la superficie actuelle. C'était une urbanisation bien planifiée comme le témoigne [24]: « en 1953, l'espace urbanisé ne représentait que 3,02 Km² ». La période post coloniale, pendant soixante ans, connaît un espace urbanisé 122,5439 Km² soit 93,86 % de la superficie pour un espace urbanisé de Mbujimayi. Cette croissance spatiale comme le révèlent les données du tableau n°1, illustrées par la figure n°1, a complètement absorbé tous les espaces de jachère des Bakwa Nyanguile. Les terrains pouvant servir à l'agriculture sont devenus introuvables, sauf quelques mètres de bande le long des rivières Mbuji-Mayi et Muya.

A. Période et valeur de l'espace urbanisé

Tableau 1. Période et valeur de l'espace urbanisé

Period	Valeur absolue en km ²	Superficie en %	Cumul de l'espace urbanisé en %
[1950-1960[	8,00972	6,14	6,14
[1960-1965[	6,80228	5,21	11,35
[1965-1970[	16,59224	12,71	24,06
[1970-1985[	28,41736	21,77	45,83
[1985-1994[	5,90606	4,52	50,35
[1994- 2020]	64,82594	49,65	100
Total	130,5536	100	100.00

Source: Mpoyi N. (2020), enquêtes et compilation de données du terrain.

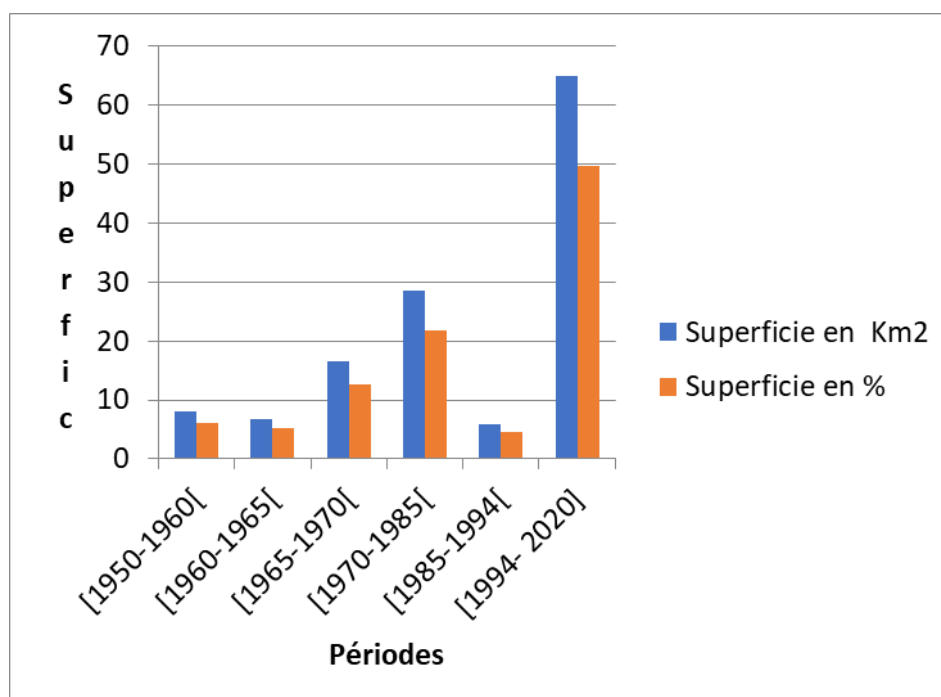


Fig. 3. Evolution de l'espace urbanisé depuis l'époque coloniale jusqu'en 2020

B. Superficie de la ville de Mbuji mayi

La croissance démographique sans précédent de Mbuji mayi déjà signalée ci-haut a occasionné la consommation totale de l'assiette de l'espace de Mbuji mayi avec un débordement de la superficie. Cette dernière a atteint 145,80 Km² de fait, y compris 106,86 Km² de superficie légale.

3.2.3 MBUJIMAYI ET SES LIMITES

Pour [27], les limites administratives sont aussi importantes car elles expriment le rapport existant entre un pouvoir et l'espace où celui-ci s'exerce. Comme on le sait, la délimitation est un élément majeur pour la caractéristique d'une ville. Pour qu'une ville soit viable et puisse jouer efficacement les rôles qui lui sont dévolus, ses limites doivent être claires et sans équivoques. Limiter une ville, c'est limiter les désordres; une ville bien délimitée est facile à contrôler. Toute personne qui arrive à la tête de la ville doit connaître les limites qui déterminent son pouvoir.

3.2.3.1 LIMITE LÉGALE

La délimitation de cette agglomération fixée par la Forminière à la colonisation est maintenue par les arrêtés numéros 40/11 et 40/12 du 10 novembre 1960 des autorités de l'Etat Autonome du Sud-Kasaï (EASK). Cette organisation administrative des arrondissements et des communes, demeure jusqu'à ce jour selon l'article 52 de l'ordonnance-loi n° 82-006 du 25 février 1982. Donc, comme déjà signalé, la zone «A», dite Bakwanga correspond aux limites actuelles de la ville de Mbuji-Mayi qui sont naturellement rivières Muya (au nord), Kanshi (au sud) et Mbuji-Mayi (à l'est) et artificiellement à l'ouest, la ligne joignant la confluence des rivières Kanshi et Nzaba et la confluence des rivières Muya et Bipemba.

3.2.3.2 LIMITE DE FAIT

L'extension de la ville de Mbuji-Mayi s'est faite uniquement dans sa partie ouest, Cette situation a amené une nouvelle limite qualifiée de fait. Cette limite est flexible selon les circonstances. Cette flexibilité se manifeste par la variabilité de superficie de la ville de Mbuji-Mayi. A titre exemplatif, nous avons: 145, 19 km² [28]. C'est seulement la commune de Bipemba qui étend son débordement en ravissant l'espace au territoire de Lupatapata. Et le non établissement de la limite légale par la délimitation de la ville en suivant et en rejoignant l'extension constituerait une source des conflits. Ce qui va finir par donner raison à [29] stigmatisant que les Africains ne manquent pas d'imagination pour créer des conflits.

Face à l'étalement de la tache urbaine, les villes peuvent avoir une double attitude: d'une part essayer de le freiner ou de le contrôler; d'autre part de capter le dynamisme des territoires périphériques en l'annexant [30]. Pour [31], la limite est ce qui permet de circonscrire un ensemble spatial donné. En géographie, l'absence de limite serait un espace isotrope et homogène.

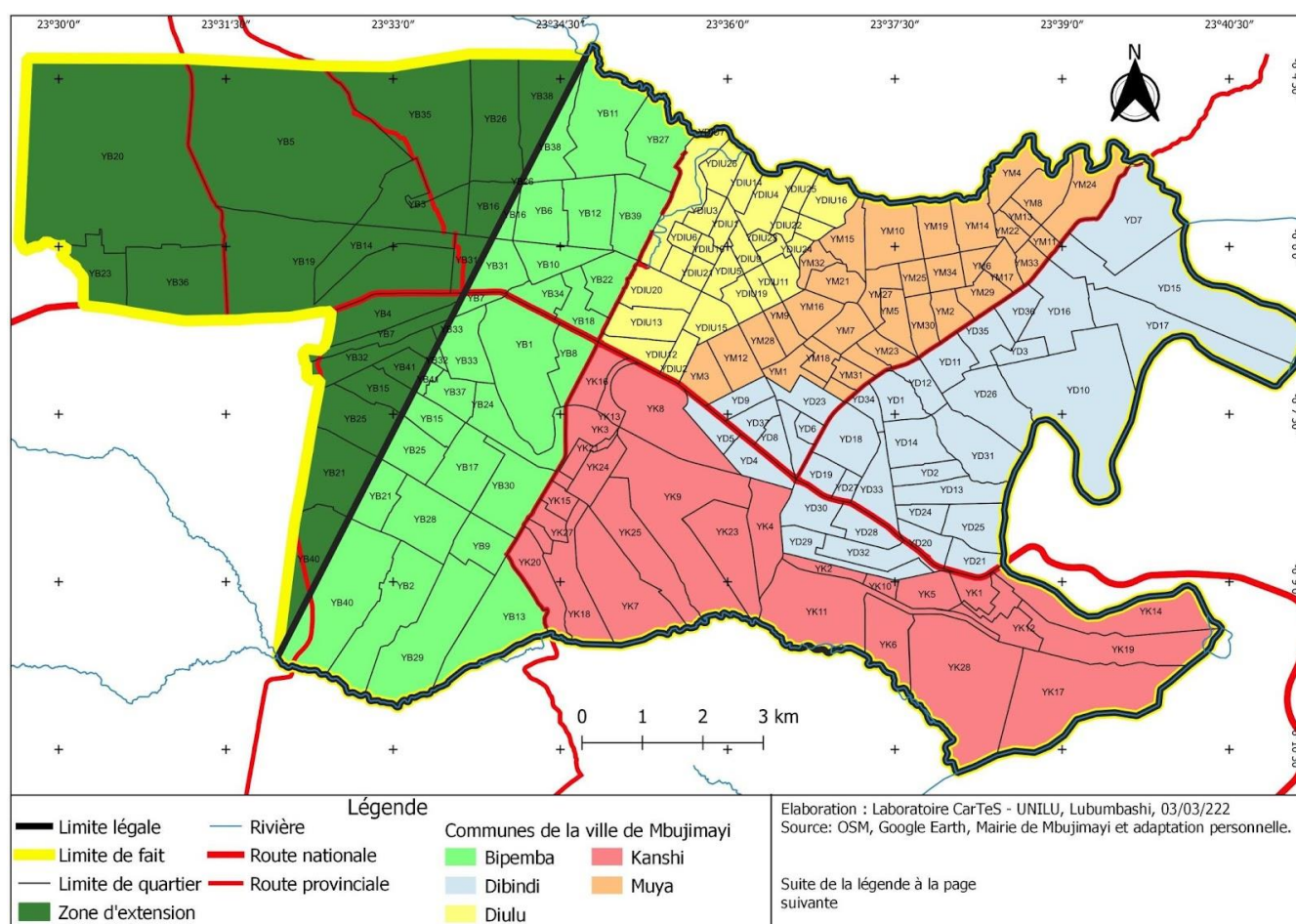


Fig. 4. Limites de la ville de Mbuji-Mayi

Tableau 2. Quartiers de cinq communes de la ville de Mbuji-Mayi

Bipemba	YB29 : Ntambwa Kasanzu	YD16 : Lukelenge I	YDIU7 : Kazadi Bukasa	YK8 : Kasai	YM8 : Kalala Mutombo
YB1: De la Plaine	YB30 : Nzaba	YD17 : Lukelenge II	YDIU8 : Lubuwa	YK9 : Kashala Bonzola	YM9 : Kalambayi Nzevu
YB2: Divo	YB31 : Odia David	YD18 : Mikela	YDIU9 : Lumumba	YK10 : Lubilanj	YM10 : Kalambayi wa Kalambayi
YB3: Ditunga Dietu	YB32 : P.M.K.O.	YD19 : Minkoka	YDIU10 : Lusamba Mukendi	YK11 : Lufalanga	YM11 : Kalonji Ditunga
YB4: Diwola	YB33 : R.V.A	YD20 : Misesa I	YDIU11 : Lusenga	YK12 : Lumanu	YM12 : Kansele
YB5: Kabongo wa Misasa	YB34 : Regideso	YD21 : Misesa II	YDIU12 : Masanka	YK13 : Lumumba	YM13 : Lazard Tshipinda
YB6 : Kabwatshia	YB35 : Tatu Kanyinda	YD22 : Monzo I	YDIU13 : Masengu wa Kanyinda	YK14 : Luzumu	YM14 : Lunga
YB7: Kabuba Mpetemba	YB36 : Tshibala Kakumesa	YD23 : Monzo II	YDIU14 : Mwepu Yampianyi	YK15 : Meta Mudiayi	YM15 : Lubempa
YB8: Kalundu	YB37 : Tshielela	YD24 : Muisangie	YDIU15 : Mukadi wa Bamitshiabu	YK16 : Mudiba	YM16 : Lusambo
YB9: Kamwanga Bitanda	YB38 : Tshintunta	YD25 : Mulomba Kamanda	YDIU16 : Mukamba Kadiata Nzemba	YK17 : Mukumadi	YM17 : M. Tsha
YB10 : Kandolo	YB39 : Tshiombela	YD26 : Muntu Tshikomo	YDIU17 : Mutombo Mbuebue	YK18 : Mutanda Kabuya	YM18 : Manzongo
YB11 : Kanjiya	YB40 : Tshitandayi	YD27 : Ndaya	YDIU18 : Ngeleka Mukendi	YK19 : Mutonj Mayand	YM19 : Mbaya Musangana
YB12: Kankelenga	YB41 : Tshiula Mutombo	YD28 : Nsapidi Mukonkole	YDIU19 : Ngoyi Kasanji	YK20 : Njeja	YM20 : Mgr Nkogolo
YB13: Kanshi	Dibindi	YD29 : SNEL I	YDIU20 : Nkashama	YK21 : Nsele	YM21 : Muluma Musulu
YB14 : Kanzeu	YD1 : Bakwanga	YD30 : SNEL II	YDIU21 : Nkuluse	YK22 : Nyongolo	YM22 : Mutonj Mayand
YB15: Katanga Mbuyi	YD2 : Bashala	YD31 : Tshilumba Lubilanj	YDIU22 : Nkunda	YK23 : Polygone	YM23 : Ndebo a Kanda
YB16 : Lubanda	YD3 : Bena Mabika	YD32 : Tshimanga Mukala	YDIU23 : Nsanga Lubangu	YK24 : Tshatshatsha	YM24 : Ngulula Mpendanjila
YB17 Lubi	YD4 : Bonzola I	YD33 : Tshiya I	YDIU24 : Ntambua Kasanzu	YK25 : Tshikisha	YM25 : Ngulula Tshibeta
YB18 : Lubwebwe	YD5 : Bonzola II	YD34 : Tshiya II	YDIU25 : Nyanduila Kalunda	YK26 : Tshizubu Mwana Mukulu	YM26 : Ngeleka Kanguvu
YB19 : Makala	YD6 : Dibindi	YD35 : Université I	YDIU26 : Simon Kimbangu	YK27 : Tubondo	YM27 : Ngomba Ngole
YB20 : Mashala Bambi	YD7 : Dikonda wa Lumanisha	YD36 : Université II	YDIU27 : Tabalayi	YK28 : Volaille	YM28 : Nkonga
YB21 : Mbuji-Mayi	YD8 : Dipumba I	YD37 : Wetrifa	Kanshi	Muya	YM29 : Nkongolo Kabila
YB22 : Mission	YD9 : Dipumba II	Diulu	YK1 : Batetela	YM1 : Bena Tshibuabua	YM30 : O.U.A.
YB23 : Mpokolo	YD10 : Grand Séminaire	YDIU1 : Abbé Ilunga	YK2 : Bel Air	YM2 : Bukasa Nkumbikumbi	YM31 : Tender

YB24 : Mulekayi	YD11 : Kabongo I	YDIU2 : Bubanji	YK3 : Bimpe	YM3 : De la Poste	YM32 : Tshibangu Mpoyi
YB25 : Mulomba Kamada	YD12 : Kabongo II	YDIU3 : Bupuekele	YK4 : Buzala	YM4 : Dieu soit béni	YM33 : Tshikama
YB26 : Mutonj Mayand	YD13 : Kasavubu I	YDIU4 : Christ : Roi	YK5 : Edimekombo	YM5 : Kabambi wa Beya	YM34 : Tshiminyi
YB27 : Muya	YD14 : Kasavubu II	YDIU5 : Dipa	YK6 : Haute Tension	YM6 : Kabeya Kasonga	
YB28 : Ngeleka Kanguvu	YD15 : Kazadi Bukasa	YDIU6 : Kavunda Vital	YK7 : Kananga	YM7 : Kajiba	

4 DISCUSSION DES RESULTATS

L'extension de la ville de Mbujimayi a engendré la situation de deux limites, une légale et l'autre de fait. Ce cas de Mbujimayi n'est pas particulièrement unique à cette ville postcoloniale, car cette situation selon notre observation de la carte politico-administrative de la République Démocratique du Congo, se retrouve aussi dans les villes coloniales comme Lubumbashi, Kananga Likasi, Kisangani, Bukavu et Kinshasa.

Les résultats de la présente étude sont similaires à ceux de [24] qui avaient démontré que l'assiette géographique de la ville de Mbujimayi dévoile une complète utilisation du site. Ce dernier ne permet plus, de par ses limites naturelles, une extension géographique à l'exception de l'ouest.

Cette étude a conduit aux résultats qui vont dans le même sens que celui de [32] sur la ville de N, Djamena au Tchad montrant que les villes africaines sont privées des outils stratégiques de planifications prévisionnelles et opérationnelles d'urbanisme et d'aménagement. Aujourd'hui, au-delà des conséquences techniques, l'extension de N'Djamena menace l'équilibre environnemental, social, économique, rural et paysager. Elle rejoint aussi [33] sur la consommation d'espace par les villes en Pologne. Cette consommation se fait d'une double façon. La première définie comme consommation formelle ou administrative relève d'une décision juridique, la seconde comme consommation réelle qui est considérée comme un processus lié à l'extension de l'aménagement urbain et la superficie aménagée est souvent considérée comme un élément caractérisant la ville.

Nous citons ci-dessous d'autres études publiées présentant certaines similarités avec la présente. [6] parlant de la ville de Kinshasa, signalent que l'extension spatiale de la ville est mal connue d'un point de vue cartographique. Pour [9], les possibilités d'expansion sont largement réduites depuis les années 1990. Une densification de l'habitat se remarque progressivement dans ces extensions postcoloniales qui constituent ce que l'on peut appeler la ville populaire.

Quant à [15], la Miba a forgé l'identité de la ville de Mbujimayi par son plan urbanistique singulier autour duquel s'est développée la ville populaire par agglutination pour profiter de facilités de ses infrastructures (eau, électricité/, écoles de qualité, hôpitaux mieux équipés, etc.). Mais la Miba a aussi eu à user de tous les moyens possibles (dont certains inhumains...) pour résister à la pression démographique, pour maintenir intact le plan urbanistique de sa concession tel que légué par les fondateurs. De fait, la pression démographique à Mbujimayi fut telle que, de 1960 à 1980, la ville s'agrandit jusqu'aux confins de ses limites naturelles formées par les trois rivières Mbujimayi, Kanshi et Muya.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons analysé la situation préoccupante des limites créées par la dynamique urbaine de Mbujimayi, ville postcoloniale. Ce travail montre que la dynamique de la ville de Mbujimayi dévoile aujourd'hui que cette ville est bloquée pour son extension par les limites naturelles constituées des rivières Muya au Nord, Kanshi au Sud et Mbuji-Mayi à l'Est. La limite artificielle de l'Ouest a permis l'extension de la ville de Mbujimayi dans le territoire de Lupatapata dans les secteurs de Mukumbi et Mulenda. Ainsi, la délimitation de la ville de Mbujimayi est marquée dans la partie ouest par la coexistence de deux limites, une limite légale qui reste immuable et l'autre de fait qui est muable. Cette dernière limite, administrativement montre son importance en mettant en exergue le rapport existant entre le pouvoir de la ville de Mbujimayi sur le territoire de Lupatapata, mais juridiquement ça conduit à une situation biaisée.

L'extension de la ville de Mbujimayi doit être accompagnée vite par les législateurs afin de régulariser et légaliser sa délimitation. Comme on le sait, cette dernière est l'une des caractéristiques majeures d'une ville. La délimitation de la ville est une des caractéristiques de la ville. Elle fait que la ville soit viable et puisse jouer efficacement les rôles qui lui sont dévolus, ses

limites doivent être claires et sans équivoque. Car limiter une ville, c'est limiter les désordres; une ville bien délimitée est facile à contrôler. Mbuji mayi ne remplit pas ces conditions du fait de la coexistence de limite légale et de limite de fait. Cette dernière est flexible et non fixe. Le débordement de la limite légale par l'extension de Mbuji mayi n'est pas accompagné d'une loi qui doit délimiter cette ville. La situation de limite de fait pour les différentes villes congolaises à l'instar de Mbuji mayi les met dans une posture d'illégalité permanente. Alors on le sait très bien que la délimitation de la ville est fixée par la loi et constitue une des caractéristiques.

REFERENCES

- [1] CIBAKA C. A., DILA C. R. et NDIATA K. A. (2023). Le village et l'avenir de l'Afrique noire. Actes du premier colloque interdisciplinaire de Ngandajika. Ngandajika, 28-30 octobre 2021. Mbuji mayi, Editions Ditunga, pp. 294.
- [2] LUSAMBA, M. (2016). Urbanisation et fabrique urbaine à Kinshasa: Défis de la maîtrise de l'étalement du territoire. In: Congo-Afrique, no 509, pp. 873-886, 2016.
- [3] BIAU, D. (2020). Les enjeux de l'urbanisation en Afrique. Remarques introductives.
- [4] JOSSE, R. (2018). La Dynamique urbaine. In: Annales de Géographie, vol. 92, no 514, pp. 712-714, 1983. [En ligne] https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1983_num_92_514_20223_t1_0712_0000_2, 4 p. (18 février 2020).
- [5] BANQUE MONDIALE (2018). Revue de l'urbanisation en République démocratique du Congo: Des villes productives et inclusives pour l'émergence de la République démocratique du Congo. Directions Du Développement. Washington, DC, 2018, Banque mondiale, pp. 89. [En ligne] <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1205-7>.
- [6] WOLFF, E. ET DELBART, V. (2019). Extension urbaine et densité de la population à Kinshasa: contribution de la télédétection satellitaire. Belgeo, no 1, pp. 45-99, 2002. [En ligne] DOI: <https://doi.org/10.4000/belgeo.15451>.
- [7] VERON, J. (2006). Une dynamique urbaine complexe. In: L'urbanisation du monde, pp. 33-62, 2006. [En ligne] <https://www.cairn.info/l-urbanisation-du-monde--9782707148919-page-33>.
- [8] FLOURIOT, J. (2008). Congo RDC: population et aménagement d'un immense pays. Association Population et Avenir, vol. 2, no 687, pp. 4-8.
- [9] MUTOMBO, K.H. (2015). Urbanisation et fabrique urbaine à Kinshasa: défis et opportunités d'aménagement. Thèse de doctorat en Géographie, Université Michel de Montaigne, Bordeaux III, Bordeaux 2014, 533 p. [En ligne] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01151044>.
- [10] ROMAND, A. (2015). Fiche de lecture réalisée en mai 2006 pour un cours sur le lien entre Culture et Territoire, Marie-Hélène Poggi, Master 1 Culture et Communication, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. [En ligne] <https://cvaurelioromand.wordpress.com/2015/01/14/marcel-roncayolo-la-ville-et-ses-territoires>.
- [11] MANSION, A. et BROUTIN, C. (2021). Quelles politiques foncières en Afrique subsaharienne ? Défis, acteurs et initiatives contemporaines. In Grain de sel, no 57, 22 p, janvier – mars 2012. [En ligne] <https://gret.org/wp-content/uploads/2021/12/Quelles-politiques-foncières-en-Afrique-Subsaharienne-Defis-acteurs-et-initiatives-contemporaines.pdf>.
- [12] BRUNET, R. (2017). Le déchiffrement du monde. Théorie et pratique de la géographie. Paris, Belin, 528 p.
- [13] KABAMBA, K. (2018). Pouvoir, territorialité et conflictualité au Grand Kasai (République démocratique du Congo). Belgeo, no 2, pp. 1-32, 2018. [En ligne] <https://doi.org/10.4000/belgeo.26916>.
- [14] OZER, P. (2014). Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. Geo-Eco-Trop, vol. 38, no 1, pp. 209-220.
- [15] LUND I, A. et al. (2018). L'architecte Guillaume Serneels (1907-1970): de son fonds d'archives à la ville de Mbuji mayi en République Démocratique du Congo (RDC). Éditions de la Faculté d'Architecture La Cambre Horta, CLARA, vol. 1, No 4, pp. 219-241, 2017. [En ligne] <https://doi.org/10.3917/clara.004.0219>.
- [16] BRUNEAU, J.-C. et MANSILA, F.-K.S. (1983). L'urbanisation spontanée postcoloniale et ses conséquences. In: Annales de la Faculté des Sciences, vol. 3, pp. 63-79.
- [17] PIERMAY J.-L. (1993). Citadins et quête du sol dans les villes d'Afrique centrale. Paris, L'Harmattan, 579 p.
- [18] TSHIMANGA R.-F. (2018). Les obstacles à l'industrialisation du Kasai-Oriental: spécificités et défis. In: Pistes Africaines, vol. 8, no 1, pp.5-33.
- [19] MUYA B.L.L. (1985). Les Baluba du Kasai et la crise congolaise (1959-1966). UNAZA, Lubumbashi, Zaïre, 249 p.
- [20] MARET, I., DAKAN, B. (2003). SIG et gestion de l'étalement urbain (GIS and sprawl management). Bulletin de l'Association de Géographes Français, 80^e année, Frontières. Géomatique, pp. 220-234, 2003. [En ligne] <https://doi.org/10.3406/bagf.2003.2329>.
- [21] BAKOUR, M. et BAOUNI, T. (2016). Étalement urbain et dynamique des agglomérations à Alger: quel rôle pour la promotion administrative? Cahiers de géographie du Québec, vol. 59, no 168, pp. 377-406, 2015. [En ligne] <https://doi.org/10.7202/1037255ar>.

- [22] TSAYEM, D. M. et TREBOUET, A. (2010). Cartographie et évaluation multi-échelle de l'étalement urbain à l'aide d'images Spot XS: Exemple du Mans (Ouest-France). Cartographie et évaluation multi-échelle de l'étalement urbain à l'aide d'images Spot XS: Exemple du Mans (Ouest-France), Nov 2008, Tananarive, Madagascar. [En ligne] <https://shs.hal.science/halshs-00457689v1>.
- [23] KALONJI, A. (2005). Congo 1960. La Sécession du Sud- Kasai. La vérité du Mulopwe. Paris, L'Harmattan, 343 p.
- [24] KAMBI, D. (1986). Urbanisation et consommation de l'espace à Mbujimayi. In: Annales de l'Institut Supérieur Pédagogique de Mbujimayi, revue interdisciplinaire, no 2, pp.40-65.
- [25] TRIBULLON J, F. (1993). Villes africaines. Nouveau manuel d'aménagement foncier. Paris, Adel, 317 p.
- [26] CARMEL, L. (2017). Un milliard de citoyens dans vingt ans: L'Afrique est-elle prête? Le monde Afrique, juillet 2017 à 19h30. [En ligne] https://www.lemonde.fr/afrique/article/2017/07/30/un-milliard-de-citoyens-dans-vingt-ans-l-afrique-est-elle-prete_5166713_3212.html.
- [27] ROSIERE, S. (2018). Géopolitique géostratégie: distinctions opératoires, 42p. In: L'information géographique, vol. 65, no 1, pp. 33-42, 2001. [En ligne] https://www.fr/doc/geo/doc/geo_0020-0093_2001_num_65_1_2732.
- [28] OMASOMBO, J. (2014). République Démocratique du Congo. Kasai-Oriental. Un nœud gordien dans l'espace congolais. Tervuren, Musée royal de l'Afrique centrale, 456 p.
- [29] KOUVIBIDILA, G.-J. (2011). Histoire de la construction de l'Afrique. Paris, L'Harmattan, 444 p.
- [30] ALLAIN, R. (2011). Morphologie urbaine. Géographie aménagement et architecture de la ville. Paris, Armand Colin, 254 p.
- [31] FOURRIEZ, M. (2022). Limites et discontinuités en géographie. C: /Users/Aser/Downloads/THESE%20 LIMITE%20these-maxime- Fourriezchapitre-3.pdf.
- [32] MAHAMAT, H. H., HALLOU A. M., DANVIDE T. B. (2018). Analyse du processus d'extension de la ville de N'Djamena au Tchad (1900-2018). Geo-Eco-Trop, vol. 45, no 3, pp. 507-516.
- [33] LISZEWSKI, S. (2018). La consommation d'espace par les villes en Pologne. Annales de Géographie, t. 89, no 2495, pp. 529-548.

Conception bioclimatique de bâtiments en climat tropical sec par une approche innovante: Simulation et mesures expérimentales in situ

[Bioclimatic design of buildings in a dry tropical climate using an innovative approach: Simulation and in situ experimental measurements]

Kananokba Ouedraogo¹ and David Y.K. TOGUYENI¹⁻²

¹Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE), Université JKZ-UFR, SEA-03 BP 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

²Ecole Polytechnique de Ouagadougou (EPO), Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2025 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 a report published by the Intergovernmental Panel on Climate Change, CO₂ produced by human activities is the main cause of global warming, and for that published by the United Nations Program United for Environment and the Global Alliance for Buildings and Construction, the building sector accounts for approximately 37% of greenhouse gases globally. Therefore, collective or individual resilience is essential and calls on researchers to provide palliative solutions in the field of housing, including reducing the energy consumption of buildings. Studies have been done in this direction but the problem still remains relevant. Using an innovative approach, we are interested in the bioclimatic design of buildings in dry tropical climates. The objective of our study aims to design strategies or techniques for designing a bioclimatic building. The research methodology will be based on experimental and numerical studies followed by a comparative study of the results of these. The experimental and numerical results made it possible to validate the strategies or design techniques thereof. By comparing the thermal and hygrothermal parameters of the control and bioclimatic buildings, we noted an improvement in the thermal and hygrothermal environment from 6°C to 7.5°C and 10% to 14% relative humidity within a bioclimatic building. compared to that of a model building offering interesting perspectives for the eco-design of habitats.

KEYWORDS: global warming, bioclimatic design, dry tropical climate, innovative approach, thermal or hygrothermal comfort, bioclimatic building.

1 INTRODUCTION

L'efficacité énergétique dans le bâtiment reste toujours pour la communauté scientifique un défi majeur à relever. En effet le comportement hygrothermique de nos bâtiments actuels laisse à désirer face aux effets des changements climatiques. Les changements climatiques s'expliquent par le fait que les conditions météorologiques sur le plan mondial telles que les températures ont subi une augmentation moyenne générale due en grandes parties par des actions anthropiques. Ces actions anthropiques impactent le secteur du bâtiment qui émet à lui seul plus de trente-cinq pour cent (35%) des gaz à effet de serre dans le monde soit 40% de l'énergie totale consommée [5]. Des recherches scientifiques ont été menées dans ce sens afin de proposer des bâtiments bioclimatiques.

Parmi ces travaux de recherches, nous avons celle de Idris Omar Abdou [6]. Son projet de thèse a consisté d'une part, à élaborer des nouveaux critères d'analyse qui ont permis de quantifier les potentiels énergétiques d'un site et d'autre part développer des stratégies de performance bioclimatique comme solutions constructives au regard de ces potentiels. Nous avons également celle de Nallapaneni Manoj Kumar [7]. Ces travaux étaient orientés à la recherche sur les technologies

thermiques, le confort, les conditions de santé et le confort de sommeil dans ces contextes qui restent limités, en particulier sur des durées prolongées. Dans cette étude, il a présenté et discuté des informations étalées sur une période de 20 ans (2001-2021) sur les comportements thermiques et énergétiques de l'Universiade Nacional sur les résidences étudiantes bioclimatiques de La Pampa en Argentine. Le bâtiment, s'appuyant sur 20 ans de données mesurées et simulées, révèle des économies d'énergie de chauffage prometteuses tout en préservant le confort ambiant intérieur. Sur la période 2001-2021, l'énergie de chauffage de la consommation moyenne s'élevait à 109 kWh/m²/an, soit une économie de 33 % par rapport aux immeubles collectifs classiques du même secteur. Les résultats de ces travaux soulignent les défis de la conception passive en cas de chaleur extrême, avec des températures estivales dépassant le confort seuils dans les bâtiments dépourvus de climatisation. Une analyse plus approfondie révèle des pourcentages d'inconfort d'environ 15 % (nuit) et 32 % (sieste) pendant les périodes de sommeil, augmentant jusqu'à 80 % pendant les canicules. Ces résultats font écho aux inquiétudes concernant les espaces surchauffés dans bâtiments bioclimatiques dans le centre de l'Argentine, soulignant l'impératif de stratégies efficaces de refroidissement estival. À travers des données de mesure et simulations, cette étude a mis en lumière l'interaction complexe entre la conception du bâtiment, les conditions environnementales, et le confort des occupants, offrant des informations précieuses sur les pratiques de conception et de gestion durables. A celles-ci s'ajoutent celle de Belkhouane, Hamza Hensen, Jan Attia, Shady [8]. Dans cette étude il était question de savoir quel était le meilleur modèle de confort à recommander afin de réduire la consommation énergétique d'un bâtiment de type bureaux dans le climat chaud (cooling dominated) tout en garantissant le confort thermique intérieur. Le but de cette recherche est de mettre en parallèle à la fois les modèles de confort et la consommation énergétique dans les climats chauds, choisir le modèle de confort qui garantit la meilleure qualité d'environnement intérieure et de comparer la consommation d'énergie du bâtiment pour chaque modèle afin de choisir le moins énergivore. Nous pouvons également nommer d'autres chercheurs dans ce domaine tels que Ness, Maria Coral [9]. Dans leurs études, il s'avère que le climat et confort représente une étape fondamentale pour la mise en œuvre de l'efficacité énergétique des bâtiments. Il est donc indispensable de déterminer les stratégies de conception les mieux adaptées à un climat spécifique, le contexte, ainsi que le niveau de complexité architecturale. Le but de cet article était de réviser les méthodes et outils existants pour la conception de bâtiments bioclimatiques, puis réfléchir à la manière dont celles-ci pourraient être appliquées pour évaluer la pertinence de différentes stratégies passives dans des contextes pertinents cas de construction. A ce propos, pour M Madi Kaboré, ces études ont porté sur le comportement thermique des bâtiments à travers une simulation [10]. Dans son travail les outils de simulation des performances énergétiques ainsi que les outils d'optimisation sont utilisés pour mener des investigations sur un bâtiment type construit en matériaux conventionnels au Burkina Faso suivant deux principales approches. Les résultats ont permis d'élaborer des solutions passives permettant d'améliorer les performances thermiques des composants et du bâtiment à travers des applications de la simulation comme outil d'aide à la conception. Selon Belkacem BERGHOUT, la consommation énergétique excessive dans l'habitat en milieu aride renvoie à une réflexion à l'architecture vernaculaire dont l'objectif d'améliorer les besoins énergétiques de l'habitat du présent sans nuire aux générations futures. Les résultats issus de cette analyse illustrent concrètement d'une part, l'interrelation entre la problématique énergétique et les différents choix de conception et d'autre part, de quelle façon le choix des dispositifs vernaculaires peut conditionner le comportement énergétique de l'habitat intégration des aspects énergétiques et du confort ambiant passif dans la conception de l'habitat en milieu aride. D'autres recherches aussi ont été effectuées sur l'enveloppe du bâtiment en vue de rendre celui-ci performante énergétiquement. Selon Etienne MALBILA, ces recherches se sont portées sur l'étude comparative de deux maisons dont les matériaux de leurs enveloppes sont différents [11]. Les résultats de ces études ont montré que dans un bâtiment en BLT avec un scénario d'occupation il y'a une réduction de moitié des gains thermiques pour des murs d'épaisseur de 15 cm à 37,5 cm et a aussi donné une estimation du gain thermique global moyen du bâtiment construit en BLT qui est de l'ordre de 0,308 kW/m²/mois et à 33,24 kW/m²/an. Ce qui a permis de conclure qu'une optimisation du comportement thermique du bâtiment est envisageable en fonction de l'utilisation projetée. Des travaux de recherche de Fati ZOMA concernaient la caractérisation des matériaux à base de terres argileuses et de renfort végétaux [12] dont l'objectif est de les utiliser dans l'enveloppe des bâtiments. Tous ses travaux de recherche montrent que la recherche d'un confort thermique adéquat a toujours été une préoccupation majeure dans la recherche. En plus de ces travaux précités, nous avons aussi les études de PIO Amandine [13] qui se sont faites sur une maison à ossature bois afin d'étudier le comportement hygrothermique des parois et de la pièce principale et a aussi permis de mettre en évidence l'effet de sollicitations thermiques sur le comportement hydrique d'une paroi comportant un matériau hygroscopique montrant ainsi la capacité du modèle développé. Une étude comparative (expérimentale et numérique) a été menée sur l'effet de stabilisation sur des blocs de terre comprimée (CEB) produit à partir d'un matériau terreux riche en quartz-kaolinite stabilisé avec 0% - 25% de résidus de carbure de calcium (CCR). L'analyse des résultats de l'étude a permis de comprendre que l'inconfort thermique humide a été impacté pour la maçonnerie stabilisée à base de CEB en comparaison avec la maçonnerie à base de ciment. Le chaleureux inconfort du bâtiment composé à 20% de maçonnerie CCR-CEB était de 400 heures inférieure à celle du bâtiment maçonnerie en blocs de ciment creux. Ce qui a permis de dire que la maçonnerie stabilisée à base de CEB est moins énergivore et plus économique [14]. Malgré les multiples solutions qui ont été proposées la problématique reste toujours d'actualité. D'où l'intérêt de cette étude qui va consister à formuler des propositions de solutions innovantes pour la conception d'un bâtiment bioclimatique en

basant sur une étude de l'état des lieux et suivi d'une analyse et interprétation des résultats de l'étude. L'objectif de notre étude vise la validation des critères de conception du bâtiment bioclimatique. Pour atteindre notre objectif, nous allons mener d'abord des études expérimentales et numériques suivi d'une étude comparative des résultats issues deux études et en fin mener des discussions afin de mieux cerner le sujet.

2 ZONE D'ETUDE

2.1 PRÉSENTATION DU SITE

L'étude s'effectue au quartier Basséko situé au Nord-ouest de la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso. La cartographie du site est représentée sur la figure1. Cette localité est située dans la zone tropicale sèche, dont les coordonnées géographiques sont: 12°C Latitude Nord et 1,5° Ouest. La ville est soumise à un climat de type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées: une saison sèche et une saison des pluies ou hivernage. La saison est alternée par des vents sahariens et des moussons océaniques. [2]

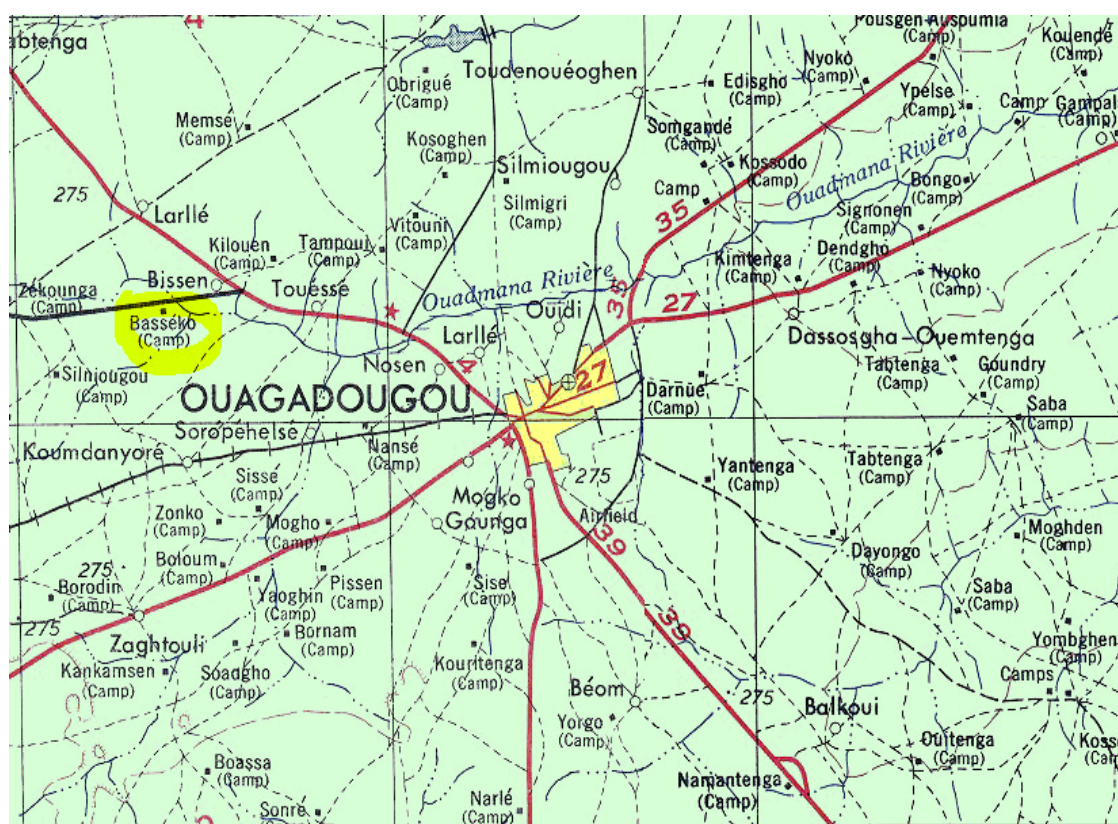


Fig. 1. Cartographie du site

2.2 CHOIX DE L'HABITAT

Selon une étude menée par forumConstruction.com les matériaux les plus utilisés dans la construction d'une maison, ce sont les parpaings qui sont les plus utilisés dans le monde. C'est pourquoi nous avons choisi les bâtiments en parpaings. Très solide, le parpaing possède une bonne qualité d'isolation thermique. IL est en effet un matériau bon marché et résistant à la fois au feu et au gel. Composé d'éléments naturels comme le gravier, le sable, l'eau, c'est un bon isolant acoustique et mécanique. Pour mener à bien notre étude expérimentale, la société immobilière CGE a mis à notre disposition un bâtiment de type F4 sur son site à Basséko. Les figures 2 et 3 illustrent parfaitement le bâtiment de l'étude expérimentale



Fig. 2. Façade principale du bâtiment témoin ou de l'étude

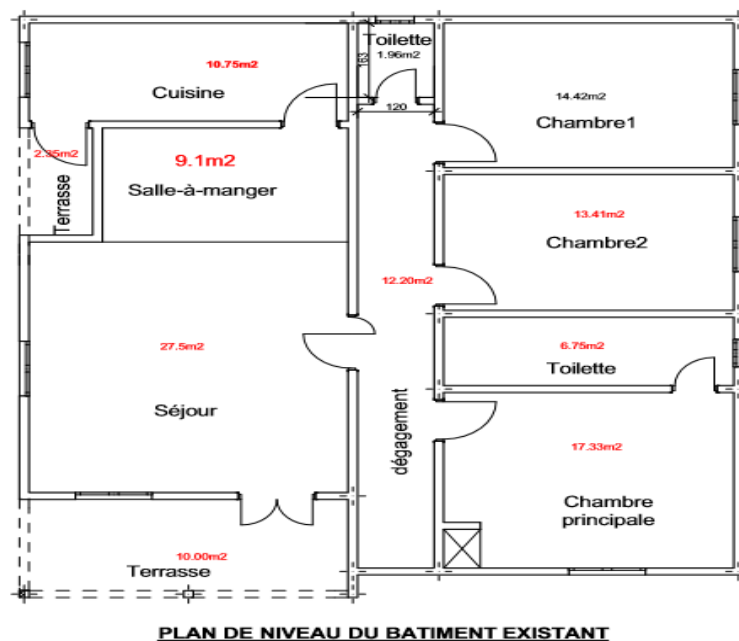


Fig. 3. Plan de niveau du bâtiment témoin

2.3 MATÉRIELS

Le matériel expérimental est composé de:

2.3.1 UN DATALOGGER

Il est utilisé est appelé midi LOGGER GL220. Il est menu de 10 voies de mesures. L'appareil accepte des signaux d'entrées en tension, température, humidité, impulsion et logique. Ce qui nous a permis d'enregistrer des mesures telles que la température intérieure des surfaces des murs de façade. La mémoire flash étant 2G alors nous allons utiliser une clé USB de 16G pour un enregistrement de longue durée les données en toute sécurité. Les données stockées sur la clé seront relues sur un ordinateur portable sur le logiciel Excel.

2.3.2 LES THERMOCOUPLES

Un thermocouple est muni d'un capteur permettant de mesurer la température intérieure de surface des murs de façade. Il est composé de deux métaux différents, soudés entre eux à une extrémité. En d'autres termes un thermocouple est donc un instrument de mesure thermique. Il permet de mesurer la température de l'enveloppe d'une pièce ou d'une surface, par exemple. Pour calculer la température, il se base sur une propriété physique appelé effet Seebeck. L'effet Seebeck est un effet thermoélectrique selon lequel une différence de potentiel apparaît entre les jonctions de deux matériaux soumis à une différence de température (le physicien allemand, Johann Seebeck). Cette différence de température peut donc être à la base d'une génération d'électricité, par le biais de thermocouples. Comment fonctionne-t-il ? Pour comprendre l'effet Seebeck, le physicien Johann Seebeck utilise une boussole munie de deux conducteurs différents, comportant chacun une température différente l'une de l'autre à leurs jonctions et constate que l'aiguille de la boussole a déviée due à la naissance d'un champ magnétique. En effet cela s'explique à travers l'apparition d'une différence de potentiel qui est créée entre les deux jonctions et qui a donné naissance à un courant électrique dans les fils et d'un champ magnétique autour des jonctions. Lorsque l'un des deux conducteurs ou semi-conducteurs est chauffé, les électrons dans ce métal se déplacent vers le métal le plus froid c'est-à-dire qu'ils se déplacent vers le point où l'énergie est la plus faible où la température est la plus faible. Il se produit donc un transport constant d'électrons du conducteur positif vers le conducteur négatif engendrant le transfert de l'énergie thermique réduisant ainsi l'effet Seebeck [15].

Pour augmenter l'effet Seebeck il est intéressant de faire de nombreuses jonctions en série, afin d'obtenir différentes jonctions froides et différentes jonctions chaudes.

Selon physicien la tension existante est proportionnelle à la différence de température entre les deux jonctions. La constante de proportionnalité est appelée coefficient Seebeck. Il s'exprime en V.K⁻¹ et se calcule par la formule suivante:

$$S_{AB} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{VY - VZ}{TW - TX} \text{ avec:}$$

S_{AB} = le coefficient Seebeck du couple de matériaux AB

ΔV = la différence de potentiel mesurée

ΔT = la différence de température entre les jonctions

Nous pouvons alors calculer le coefficient Seebeck manquant grâce à la formule suivante, en ayant trouvé le coefficient du couple de matériaux comme montré précédemment:

Les propriétés de cet effet sont obtenues grâce aux thermocouples associées à deux fils de matériaux conducteurs connectés ensemble à une de leurs extrémités. Le tableau ci-dessous donne les types de thermocouples.

Tableau 1. Types de thermocouples les plus communs (liste non exhaustive) [15]

Type	Conducteur +	Conducteur -	Plage de θ d'utilisation (en usage continu)
K	nichrome	nickel-aluminium	0 à 1100°C
T	cuivre	cuivre-nickel	-185 à 300°C
J	fer	cuivre-nickel	20 à 700°C
N	nichrome-silicium	nickel-silicium	0 à 1150°C

Pour notre étude nous avons choisi les thermocouples de type K.

2.3.3 LA STATION METEOROLOGIQUE PCE-FWS 20 WEATHER CENTER

Cette station météorologique est un appareil multifonctionnel. Elle permet de déterminer de façon précise la direction du vent, la vitesse du vent, la température, l'humidité relative et la pluviosité. Son écran tactile, nous permet d'avoir facilement les valeurs de la station météorologique. Un port USB est incorporé et permet de transférer les données de la station météorologique à un PC ou ordinateur portable.

2.3.4 TRNSYS 18

Le logiciel TRNSYS permet la simulation thermique dynamique appliquée au bâtiment. Il permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment c'est à dire son emplacement, les matériaux de construction utilisés, l'architecture globale, le concept énergétique choisi, etc.

3 MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES

La collecte des données météorologiques telles que la températures (T en $^{\circ}\text{C}$) et d'Humidité relative (H_r en $\%$) a été faite de façon continue sur la période allant du mois de Mars 2022 juste qu'au 04 Novembre 2023 et de façon discontinue du 04 Novembre 2022 au 14 février 2023 dues à la disponibilité des appareils et équipements installés. Pour les mesures de température et humidité relative le datalogger et la tablette de la station météorologique enregistraient automatiquement toutes les 5mn les prises de mesures en continue et en discontinue. La figure4 présente l'ensemble du dispositif électrique et les appareils ayant servis à la prise des paramètres thermiques dans le bâtiment expérimental. L'orientation du bâtiment témoin était NORD-SUD. Il était inhabité et en évolution libre aussi.

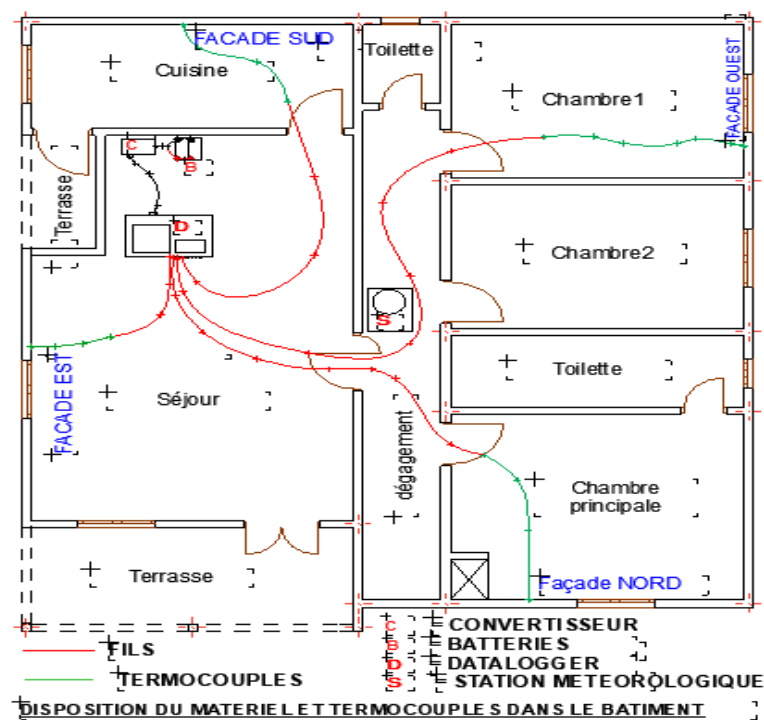


Fig. 4. Plan d'installation des appareils (datalogger, station météorologique et thermocouples)

4 RESULTATS ET ANALYSES

Les résultats obtenus issue de la campagne de prise de température intérieure de surface des murs de façade ont donné des diagrammes comme illustrent les figures 5 et 6.

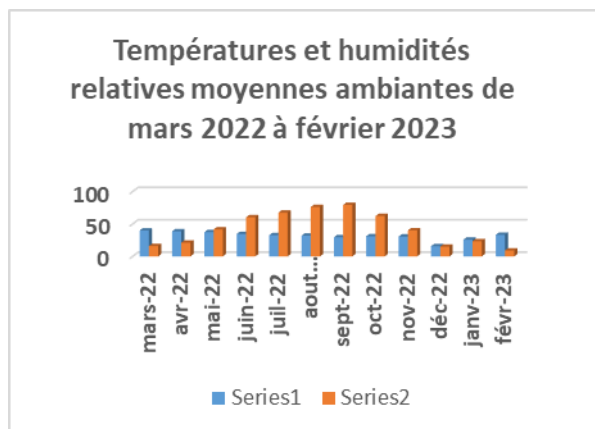


Fig. 5. Températures et humidités relatives moyennes ambiantes de mars 2022 à février 2023 (Série1: les températures ; Série2: l'humidité relative)

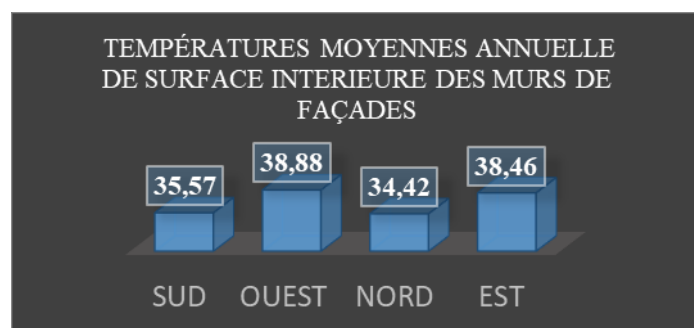


Fig. 6. Diagramme de températures moyenne annuelle de surface intérieure des murs de façade

5 DISCUSSION

La maîtrise des paramètres thermiques nécessite la connaissance de l'impact des radiations solaires et températures extérieures sur le confort thermique interne du bâtiment. L'impact de cette radiation nous a amené à utiliser deux équations:

$$QM = \alpha \cdot F \cdot S \cdot RM \quad (1)$$

Où,

- QM = Apports de chaleur par radiations, en W;
- α = coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement (fonction de la couleur et nature du mur);
- S = surface de la paroi, en m²;
- F = facteur de rayonnement solaire (part absorbée par la surface et transmise vers l'intérieur du local);
- RM = rayonnement solaire incident sur la surface du mur, en W/m²

(Données météorologiques), qui dépend:

- De la latitude sous laquelle le local se trouve;
- De l'orientation du mur;
- De l'heure à laquelle le calcul sera effectué.

Et,

$$QR = k \cdot S \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

Où :

- QR = Apport de chaleur par conduction et convection, en W;
- k = coefficient de transmission thermique de la paroi ou du vitrage
- Considéré $[W/m^2K]$;
- S = surface de la paroi ou de la fenêtre considérée $[m^2]$;
- $\Delta\theta$ = différence de température entre les deux faces (extérieure/Intérieure) de la paroi considérée $[K]$, aux heures les plus chaudes.

Comme le facteur de rayonnement, le coefficient d'absorption et rayonnement solaire incident sur la surface de mur peuvent varier d'une région, d'un continent à l'autre alors nous nous sommes contentés des résultats de l'étude expérimentale sur le bâtiment témoin.

D'après les figures 5 et 6, la façade ouest reçoit de l'énergie solaire incidente la plus forte due au rayonnement direct et diffus; suivie par la façade EST qui reçoit la même quantité d'énergie uniquement dans la matinée du au rayonnement direct. Quant à la façade Sud reçoit moins d'énergie et la façade Nord est la façade la mieux protégée contre le rayonnement solaire. En transformant ce diagramme en diagramme circulaire, il est presque identique à celui d'une zone méditerranéenne (voir diagrammes ci-dessous). La façade principale du bâtiment étant orienté suivant la direction Nord-Sud a pour conséquence: la façade Nord a le plus grand nombre (04Ouvertures) suivi de la façade OUEST (03), la façade EST deux (02) et la façade SUD une seule ouverture

En transformant le diagramme de la figure 6 en diagramme circulaire (figure 7), nous remarquons qu'il est presque identique à celui de la zone méditerranéenne illustré dans le diagramme de la figure 8 avec également d'énergies thermiques similaire.

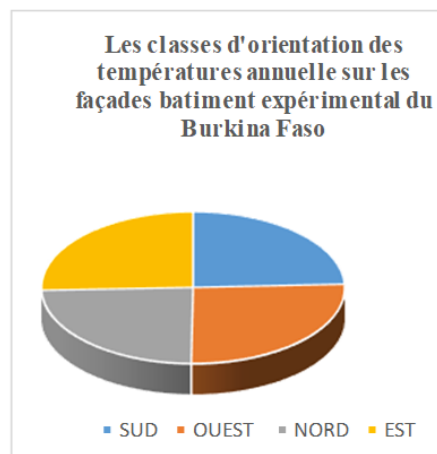


Fig. 7. Classes d'orientation des températures intérieures de surface sur les murs de façade du bâtiment témoin

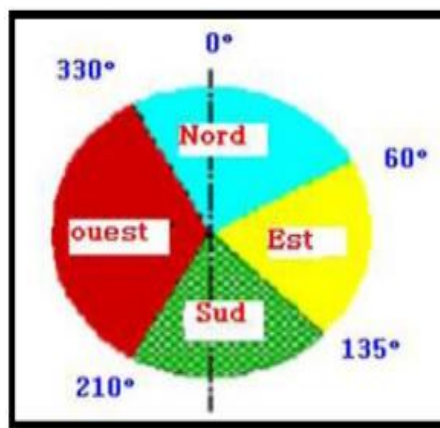


Fig. 8. Classe de température en zone Méditerranéenne

En climat méditerranéen l'orientation des bâtiments est Nord-Sud. Hors l'orientation du bâtiment Nord-Sud du bâtiment témoins et nous constatons également que les résultats obtenus sont presque identiques à celle des pays méditerranéens. Cette orientation préconise beaucoup plus d'ouvertures sur façade Nord et Sud et cela est vérifié sur la figure 9.

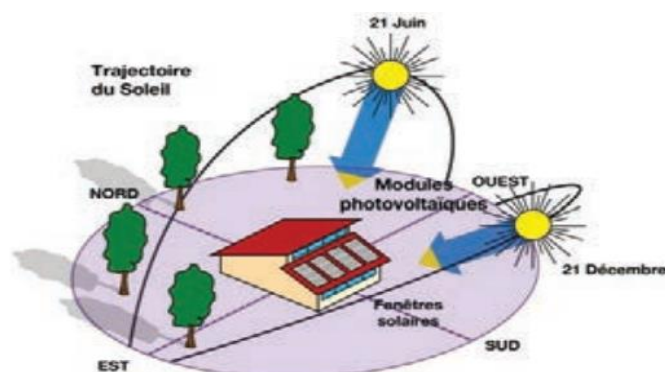


Fig. 9. Diagramme solaire [5]

Cette orientation NORD-SUD des ouvertures du bâtiment ayant servi de l'étude émane du règlement de la construction établi par le Ministère de l'Urbanisme, des Affaires Foncières et de l'Habitat (MUAFH) du Burkina Faso pour la seule raison: éviter la pénétration des rayons solaires à l'intérieur des bâtiments. En établissant les classes d'orientation annuelle des températures moyennes de l'étude et en les comparant à celles en climat méditerranéen et de l'orientation Nord-Sud du bâtiment témoins, nous pouvons conclure que l'orientation actuelle des bâtiments dictée par le Ministère de l'Urbanisme, des Affaires Foncières et de l'Habitat (MUAFH) du Burkina Faso émane de l'époque néocoloniale plus précisément l'orientation des bâtiments ici de la république française. Cette orientation des ouvertures ne favorise pas la circulation de l'air à l'intérieur de nos bâtiments et entraîne une consommation d'énergie de façon exponentielle dans le bâtiment provoquée par la ventilation artificielle dans la recherche d'un confort thermique acceptable. Pour apporter une réponse urgente à cet état de fait nous avons conçu et réalisé un bâtiment bioclimatique de type F4 qui prend en compte les paramètres climatiques et des ouvertures qui sont orientées dans le sens de la circulation de l'air. En saison sèche par exemple l'air circule de l'EST vers l'OUEST (l'Harmattan) et en saison hivernale de l'OUEST vers l'EST (la mousson). En effet, l'influence du vent sur la température d'un bâtiment est un facteur climatique important dans la détermination des besoins en énergie d'un bâtiment. Des recherches ont été menées dans ce sens à travers des simulations. Selon [16] nous évoque le débit d'air à travers une ouverture en utilisant l'équation de Bernoulli qui relie la vitesse d'un écoulement induite par une différence de pression à travers une ouverture en lien avec la relation débit-pression suivant cette formule:

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \text{ où } V \text{ représente le débit en } m^3 s^{-1} \text{ et } A \text{ est l'aire de passage en m.}$$

Sa pression générale s'écrit comme suit:

$V = C (\Delta P)^n$ où (C) est dénommé coefficient de débit d'air et s'exprime en $m^3 s^{-1} Pa^{-n}$ (n varie entre 0,5 et 1), P est la pression statique de l'écoulement non perturbé du vent avec pour expression suivante: $P = P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho V^2_{vent}$.

La figure 10 explique bien le phénomène selon la physique du bâtiment/les causes du renouvellement d'air naturel (page 111-119).

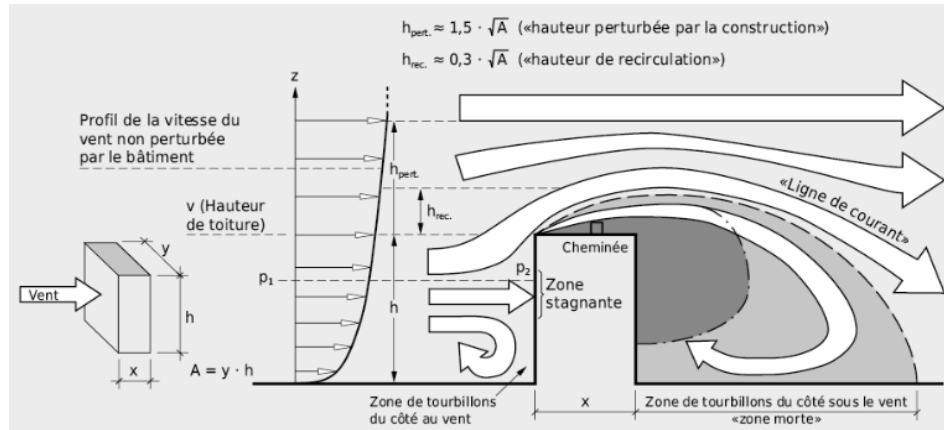


Fig. 10. Représentation simplifiée de l'écoulement du vent autour d'un bâtiment rectangulaire d'un site dégagé

En se basant sur les paramètres climatiques de notre pays nous avons adopté que désormais l'orientation d'un bâtiment en générale sera de l'EST vers l'OUEST dont les façades EST et OUEST doivent avoir beaucoup plus d'ouvertures dans le seul but de pouvoir assurer la circulation de l'air ainsi que la ventilation naturelle dans le bâtiment. Cette orientation offre également un meilleur éclairage naturel dans le bâtiment à travers l'ensoleillement qui est très abondant. Selon une étude intitulée Zagtoui, symbole solaire au pays des hommes intègres, le Burkina Faso bénéficie en effet d'un ensoleillement très favorable (3 000h de rayonnement solaire par an), avec gisement à 5,5 à 6 kwh par m² par jour. Le choix de cette nouvelle orientation des bâtiments se traduit par le fait que la vitesses moyennes du vent au Burkina Faso est 2.63m/s. La vitesse du vent étant faible, nous avons adopté comme orientation au BURKINA FASO, l'orientation **EST-OUEST** sans aucun risque pour faciliter la ventilation naturelle et un bon éclairage dans le bâtiment comme indique la figure 11.

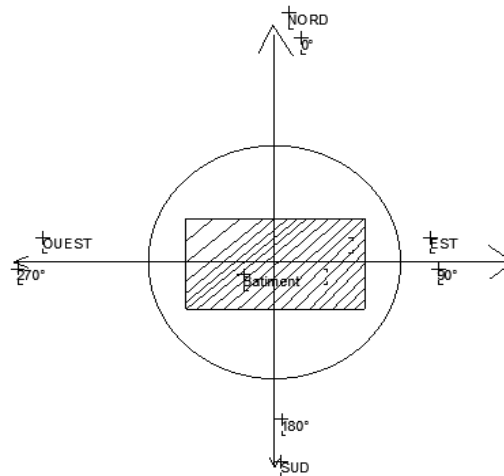


Fig. 11. Orientation du bâtiment bioclimatique

En plus de l'orientation, les techniques de conception est un facteur déterminant dans réalisation d'un bâtiment bioclimatique. La figure 12 permet de comprendre la circulation de l'air dans le bâtiment. A l'atteinte de la vitesse résiduelle de 0.2m/s a été possible grace au renouvellement d'air.

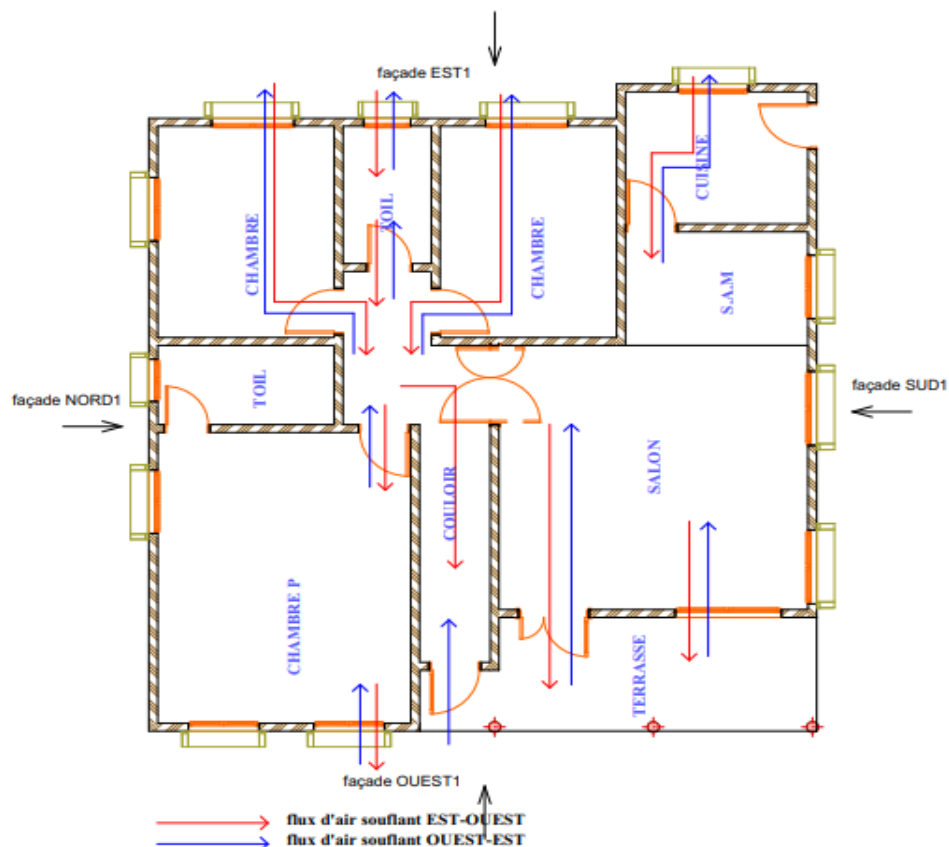


Fig. 12. Plan de circulation de l'air

Sur la figure 15, chaque fenêtre est dotée d'un dispositif de protection solaire pour les protéger du rayonnement solaire car celui-ci est source d'inconfort. L'intégration d'un microclimat comme illustrent la figure 13 autour du bâtiment va permettre de maintenir constant le taux d'humidité à l'intérieur du bâtiment pendant surtout les période chaude de l'année.

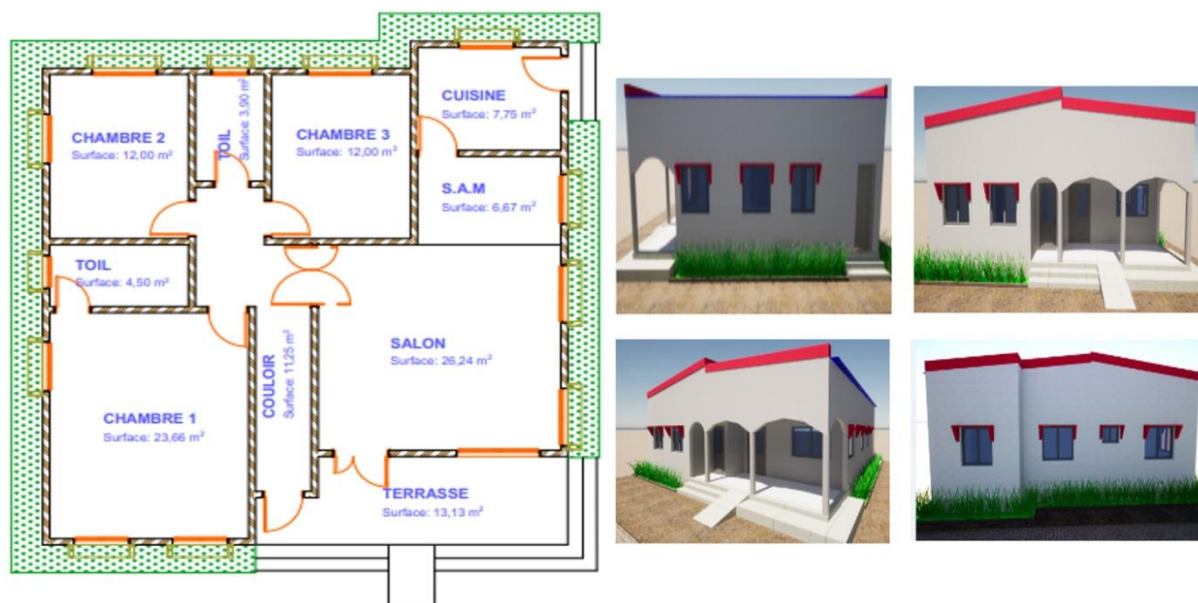


Fig. 13. Plan de repartition spatiale et microclimat

Dans la figure 14, avec une hauteur moyenne de 4m va permettre l'évacuation de chaleur provenant de la toiture à travers des aérations afin d'éviter la propagation de la chaleur venant de la toiture. La simulation réalisée sur le bâtiment bioclimatique et les prises de mesure faites sur le bâtiment bioclimatique ont donné les résultats des figures.

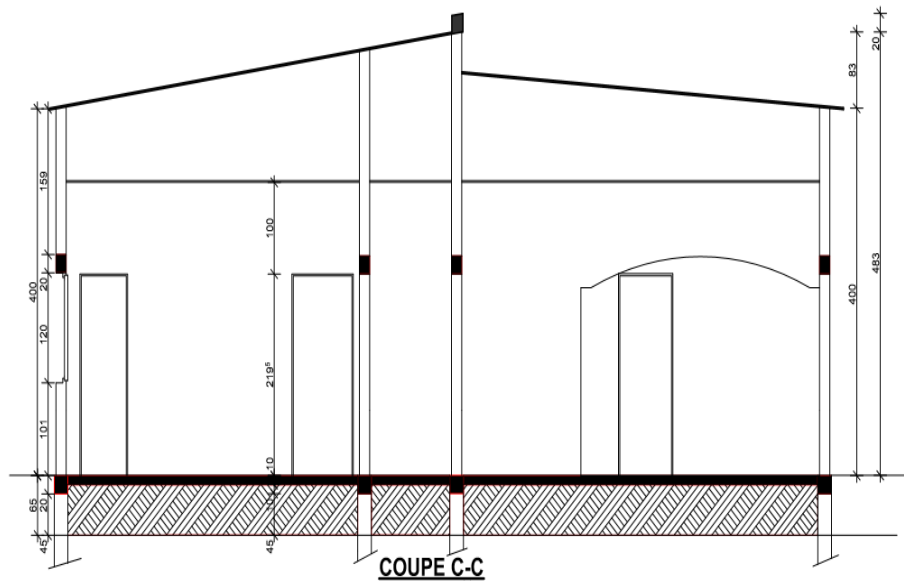


Fig. 14. Coupe du bâtiment bioclimatique



Fig. 15. Bâtiment bioclimatique avec dispositifs de protection solaire

En comparant les résultats simulés et mesurés de la figure 16 avec le diagramme bioclimatique de Victor Olgyay montrent que le bâtiment conçu et réalisé est bioclimatique car les températures moyennes mesurées et simulées à celle de la zone de confort de ce diagramme. D'autres études expérimentales menées au sein du bâtiment témoin et le bâtiment bioclimatique dont les résultats sont consignés dans les figure 17 et 18 montrent une amélioration de l'ambiance thermique et hygrothermique de 6°C à 7.5°C (perte) et 10% à 14% HR (gain) au sein d'un bâtiment bioclimatique par rapport à celle d'un bâtiment témoin offrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'éco-conception des habitats.

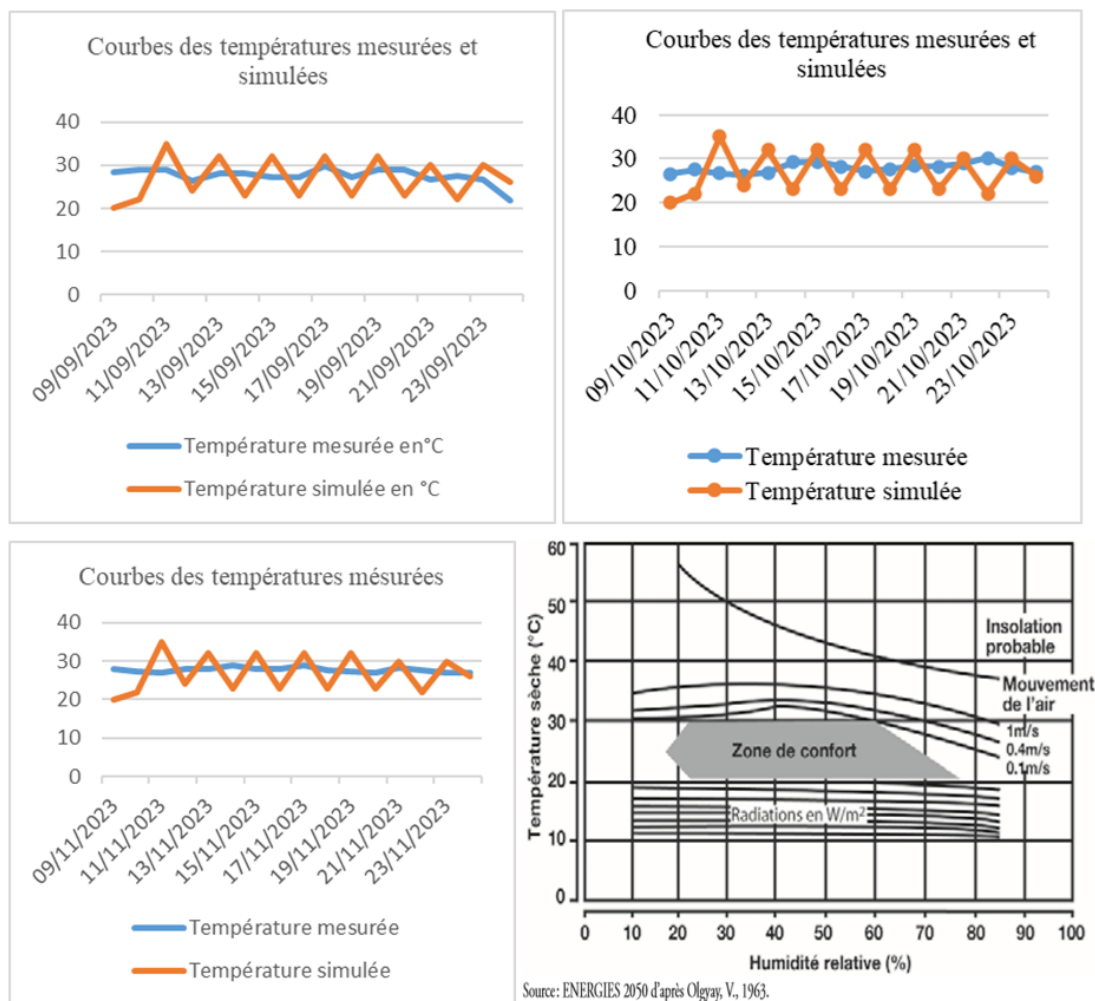


Fig. 16. Courbes des températures mesurées et simulées de septembre à novembre

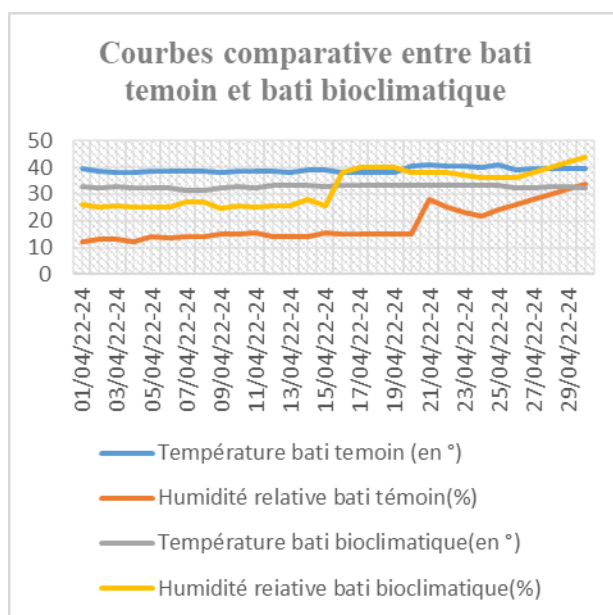


Fig. 17. Courbes comparatives entre bâti témoin et bâtiment bioclimatique

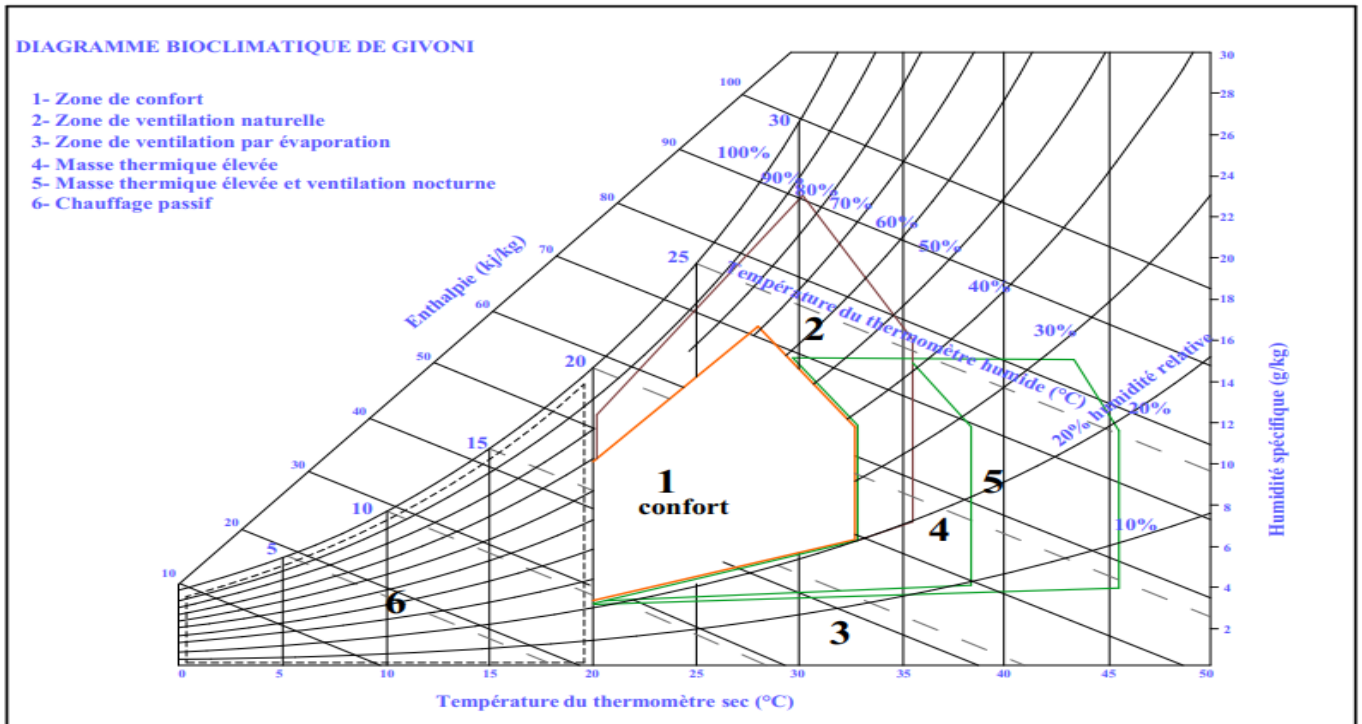


Fig. 18. Diagramme bioclimatique révisé

Tableau 2. Calcul de vitesse résiduelles

Désignation	L(m)	l(m)	h(m)	NR	Vitesse de l'air(m/s)
Chambre1	4	3	4	180	0,2
Chambre2	4	3	4	180	0,2
Cuisine	3,10	2,5	4	180	0,2
Séjour	5,25	5	4	180	0,2
Chambre PP	5,5	4,3	4	180	0,2
La vitesse résiduelle de notre bâtiment				0,2 m/s	

$$\text{Vitesse de l'air intérieur} = \frac{\text{Débit d'air}}{A} = \frac{\text{Volume local} \times \text{Nombre de Renouvellement d'air (NR)}}{\text{section déplacement} \times 3600}$$

Tableau 3. Calcul de la profondeur d'éclairage

Désignation	L(m)	l(m)	H(m)	Profondeur limite d'éclairage(m)	%d'éclairage naturel des pièces
Chambre1	4	3	4	4 < 9.23	100%
Chambre2	4	3	4	4 < 9.23	100%
Cuisine	2.5	3.35	4	2.5 < 8.11	100%
Séjour	5.25	5	4	5.25 < 8.10	100%
Chambre PP	5.5	4.3	4	5.5 < 9.85	100%

Avec cette formule $PL = \left\{ \frac{2}{1-RMOY} \right\} \left\{ \left(\frac{1}{w} \right) + \frac{1}{h} \right\} [5]$ nous avons pu calculer

- PL = profondeur maximale (m);
- RMOY = la réflectance moyenne de la surface (sans dimension) = 0,8;

- w = la longueur de la chambre (m); et
- h = hauteur mesurée depuis le haut de la fenêtre (m).

Les résultats obtenus montrent que chaque pièce est suffisamment éclairée ce qui signifie que le confort visuel est atteint à cent pour cent d'éclairage naturel

6 CONCLUSION

L'étude expérimentale avait pour objectif de déceler les problèmes qui empêchent l'atteinte du confort hygrothermique dans les bâtiments existants. Cette étude a permis également de trouver des solutions par rapport à l'orientation et de dimensionner des ouvertures entrant dans la conception et la réalisation du bâtiment bioclimatique. Les résultats obtenus issus des études expérimentales et numériques effectuées sur le bâtiment bioclimatique ont permis de valider les techniques ou les critères de conception des plans architecturaux qui sont des solutions innovantes en vue de réaliser des bâtiments bioclimatiques. Grâce aux résultats de l'étude comparative effectuée entre le bâtiment bioclimatique et le bâtiment témoin, nous constatons avec une grande satisfaction une amélioration de l'ambiance thermique et hygrothermique de 6°C à 7.5°C (perte) et 10% à 14% HR (gain) au sein d'un bâtiment bioclimatique par rapport à celle d'un bâtiment témoin offrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'éco-conception des habitats. D'autres perspectives s'offrent toujours telle que l'établissement des abaques de référence qui vont aider le concepteur à opérer des choix par rapport au volume donné d'une pièce quant au nombre et dimensions des ouvertures pour une meilleure prise en charge du confort thermique et hygrothermique dans le bâtiment.

REFERENCES

- [1] UNEP and Global Alliance for Building and Construction, «Rapport sur l'état mondial des bâtiments et de la construction en 2022,» p. 14, 2022.
- [2] O. I. de la francophonie (OIF) I. de la Francophonie, *Guide du bâtiment durable en régions tropicales*. 2015.
- [3] I. O. Abdou, «Études de l'amélioration de la performance énergétique et de stratégies de conception architecturale bioclimatique en climat chaud et humide To cite this version : HAL Id : tel-03346755 THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON Études de l'améliorat,» Université Claude Bernard Lyon 1, 2021.
- [4] C. Filippín, S. F. Larsen, and M. Canori, «Energy use, health, and sleep in a bioclimatic university residence : a case study from 20 years of use,» no. August, 2024, doi: 10.20935/AcadEnergy7304.
- [5] H. Belkhouane, J. Hensen, and S. Attia, «Thermal comforts models for net zero energy buildings in hot climate,» pp. 132–139, 2017.
- [6] M. C. Ness, «Principles and tools for bioclimatic building design - An applied review and analysis in cold climates,» *Proc. 33rd PLEA Int. Conf. Des. to Thrive, PLEA 2017*, vol. 3, no. July, pp. 4196–4203, 2017.
- [7] K. M., «Madi Kabore, « Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques de des bâtiments en Afrique sub-saharienne », PhD, janvier 2015, Grenoble, 2015, [Online]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01207884>.
- [8] M. Etienne, «Etudes expérimentale et numérique comparatives des performances hygrothermiques sous climat tropical sec de deux maisons construites en Bloc latéritique taillé et en Parpaings : mise en évidence de l'influence de l'inertie thermique sur le confort thermiq,» Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO Mention, 2018.
- [9] Z. Fati, «Etude expérimentale des propriétés thermomécaniques et simulation de la performance énergétique de matériaux composites formulés à base de terres argileuses et de renforts végétaux: essai de qualification pour leur utilisation comme enveloppes de maison,» Université de Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, 2016.
- [10] A. Pio, «Hygrothermique du bâtiment : expérimentation sur une maison à ossature bois en conditions climatiques naturelles et modélisation numérique,» Ecole doctorale Mécanique, 'Energétique, Génie Civil, Acoustique, 2009.
- [11] H. S. Moussa, P. Nshimiyimana, C. Hema, O. Zoungrana, A. Messan, and L. Courard, «Comparative Study of Thermal Comfort Induced from Masonry Made of Stabilized Compressed Earth Block vs Conventional Cementitious Material,» *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 07, no. 06, pp. 385–403, 2019, doi: 10.4236/jmmce.2019.76026.
- [12] P. li, «MÉMOIRE DE RECHERCHE Projet : Une énergie éco-Seebeck », 2021.
- [13] M. C. Austin *et al.*, «Influence des effets du vent et du tirage thermique sur le taux de renouvellement de l'air d'un bâtiment ventilé naturellement : estimations par simulation aéraulique directe et par validation expérimentale d'une modélisation thermique,» *Conférence {IBPSA} {France} – {Bordeaux}*, no. May, pp. 13–21, 2018, [Online]. Available: http://ibpsa.fr/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=53&view=viewcategory&catid=81.

Perception des mères sur la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi

[Perception of mothers on the circumcision of their children in the Ngezi district]

Suga Savo Amos, Logo Ndalo Pascal, Uciran Bule Chrisante Ibrahim, Adania Alesi, Lokanzo Lonu, and Kyaligonza Kisoke Daniel

Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM-Bunia), RD Congo

Copyright © 2025 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 work which is the subject of this study is entitled «perception of mothers on the circumcision of their children in the Ngezi district».

To achieve this objective, we used the ethnographic method, supported by the interview guide.

The results obtained show that:

- The mothers interviewed consider circumcision mainly as an act of purification, often recommended by institutions religious such as the Church;
- The main reasons given by participants for circumcising their children include preventing urinary infections and reducing the risk of sexually transmitted diseases;
- In today's society, circumcision is seen as a social requirement, contributing to well-being and the integration of the child into their social environment;
- The decision to circumcise their children is mainly based on aesthetic and hygiene considerations. Indeed underlines that they prefer to circumcise their children so that their penis takes a «good shape»;
- The study revealed a diversity of concerns among respondents regarding the potential risks for their uncircumcised children. Some respondents believe that the absence of circumcision could increase the risk of infection of the foreskin and still others think that there is a risk of developing phimosis.

This is why it is very important to do circumcision in a boy child. To prevent certain risks.

KEYWORDS: perception, mother, circumcision.

RESUME: Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé la méthode ethnographique, soutenue par le guide d'interviews.

Les résultats obtenus montrent que:

- Les mères interrogées considèrent la circoncision principalement comme un acte de purification, souvent recommandé par des institutions religieuses telles que l'église;
- Les raisons principales évoquées par les participants pour la circoncision de leurs enfants incluent la prévention des infections urinaires et la réduction des risques de maladies sexuellement transmissibles;
- Dans la société actuelle, la circoncision est perçue comme une exigence sociale, contribuant au bien-être et à l'intégration de l'enfant dans son environnement social.
- La décision de circoncire leurs enfants repose principalement sur des considérations esthétiques et d'hygiène. En effet souligne qu'ils préfèrent circoncire ses enfants pour que leur pénis prenne une «bonne forme»;
- L'étude a révélé une diversité de préoccupations parmi les enquêtées concernant les risques potentiels pour leurs enfants non circoncis. Certaines enquêtées estiment que l'absence de circoncision pourrait augmenter le risque d'infection du prépuce et d'autres encore pensent qu'il y a risque du développement de phimosis.

C'est pourquoi, il est très important de faire la circoncision chez un enfants garçon pour prévenir certains risques.

MOTS-CLEFS: perception, mère, circoncision.

1 PROBLÉMATIQUE

La circoncision est un sujet controversé qui suscite des débats au sein de la société. Selon l'OMS, environ 30% des hommes dans le monde sont circoncis, principalement pour des raisons culturelles, religieuses ou de santé. Cependant, la perception des mères sur la circoncision de leurs enfants reste peu étudiée et nécessite une attention particulière.

Selon (Frisch et Earp 2013), les mères ont un rôle important dans la prise de décision concernant la circoncision de leurs enfants, et que leur opinion peut varier en fonction de leurs croyances, de leur éducation et de leur environnement social.

La décision de circoncire un enfant peut être difficile pour de nombreuses mères, qui peuvent ressentir de l'anxiété, de la culpabilité et de l'incertitude face à cette procédure chirurgicale. Selon (Reiss et Mantzoros 2019), les mères qui ont des connaissances limitées sur les avantages et les risques de la circoncision sont plus susceptibles de prendre des décisions basées sur des facteurs émotionnels plutôt que scientifiques.

Il est vrai que lorsqu'il s'agit de la circoncision des enfants, les perceptions des mères peuvent varier en fonction des traditions, des croyances religieuses et des contextes culturels. En Europe, où la pratique de la circoncision est moins répandue que dans d'autres régions du monde, les avis des mères sur cette procédure médicale peuvent être particulièrement influencés par des facteurs sociaux et familiaux. Dans une étude menée en (Suède, Eriksson et al. 2014) ont constaté que les mères étaient souvent divisées sur la question de la circoncision, certaines considérant cette pratique comme une tradition culturelle importante, tandis que d'autres la percevaient comme une violation des droits de l'enfant. De même, une recherche menée en France par (Dubois et coll. 2018) a révélé que les mères étaient confrontées à des dilemmes complexes lorsqu'il s'agissait de prendre une décision concernant la circoncision de leur enfant, en raison des pressions sociales et familiales contradictoires.

La circoncision suscite des débats passionnés et controversés, et cette pratique est également sujet de préoccupation pour de nombreuses mères en Amérique. Selon (Johnson et al. 2019) au Brésil, il a été constaté que les mères étaient partagées sur l'idée de circoncire leurs enfants, certaines soulignant les bénéfices en termes d'hygiène et de prévention des infections, tandis que d'autres exprimaient des préoccupations quant à l'intégrité physique de leur enfant. De même, une étude menée au Canada a révélé que les mères étaient soumises à des pressions sociales et culturelles contradictoires en ce qui concerne la circoncision de leurs enfants, ce qui a suscité des débats internes et des sentiments mitigés. (Rodriguez et al. 2018)

Par ailleurs, dans de nombreux pays en Asie, la circoncision est une pratique courante et largement répandue, souvent perçue comme une tradition et un acte de purification religieuse. Cependant, les perceptions et les attitudes des mères à l'égard de la circoncision de leurs enfants peuvent varier en fonction des contextes culturels et religieux spécifiques de chaque pays. En Malaisie, par exemple, des études ont montré que la majorité des mères de jeunes enfants étaient favorables à la circoncision en tant que pratique religieuse et médicale importante (Isa et al., 2012). En revanche, une étude menée en Indonésie a révélé que certaines mères étaient réticentes à faire circoncire leurs fils en raison de préoccupations liées à la douleur et aux risques pour la santé (Yulizal et al., 2018).

La circoncision est une pratique ancienne largement répandue en Afrique, où elle revêt une signification culturelle et religieuse importante. De nombreux pays du continent, tels que le Kenya et le Mali, ont des taux élevés de femmes qui soutiennent cette pratique pour leurs enfants mâles. Cependant, des études récentes suggèrent qu'il existe une diversité de perceptions parmi les mères africaines en ce qui concerne la circoncision de leurs enfants. Selon (Tieu et al. 2018), une minorité de mères kenyannes expriment des préoccupations concernant les risques de santé associés à la circoncision, tandis que la majorité considère cette pratique comme bénéfique. En revanche, une étude menée au Mali révèle que de nombreuses mères sont réticentes à faire circoncire leurs enfants en raison de préoccupations liées à la douleur et aux complications potentielles. (Touré et al. 2019)

En République Démocratique du Congo (RDC), la circoncision est une pratique courante, notamment pour des raisons culturelles, religieuses et de santé publique. Cependant, les opinions des mères sur la circoncision de leurs enfants peuvent varier en fonction de leur niveau d'éducation, de leur statut socio-économique, de leur appartenance ethnique ou de leur région de provenance. Selon (Tsague et al. 2014), dans la province du Nord-Kivu, les mères issues de communautés où la circoncision est fortement ancrée ont tendance à être favorables à cette pratique, tandis que celles provenant de milieux plus urbains pourraient être plus réticentes. De même, selon (Mputu et al. 2016), dans la province du Katanga a révélé que les mères issues de groupes ethniques traditionnellement non circoncis étaient moins enclines à faire circoncire leurs enfants. Par ailleurs, selon (Kabeya et al. 2018), dans la province de l'Equateur a montré que le niveau de connaissance des mères sur les bénéfices et les risques de la circoncision influençait également leur perception et leurs décisions.

A Bunia, lors de notre stage au CSOP, nous avons identifié un problème concernant la circoncision des enfants: pendant la période de vacances. Quand on faisait la circoncision des enfants, 12 mères sur 15 mères soit 80% des mères avaient des perceptions différentes quant à l'âge approprié pour procéder à cette intervention. 10 mères sur 15 soit 66,6% d'entre elles

nous ont posé la question de savoir à quel moment il était recommandé de faire la circoncision de leur enfant. Cette diversité de points de vue souligne le besoin d'une meilleure communication et information sur cette pratique, afin que les parents puissent prendre des décisions éclairées pour la santé de leur enfant.

Aux vues de ce constat, la question principale suivante vaut la peine d'être posée. Quelle est la perception des mères sur la circoncision de leurs enfants dans le Quartier Ngezi ?

De cette question principale, découlent les questions secondaires suivantes:

- Quelle est la perception des mères sur les raisons de la circoncision de leurs enfants dans le Quartier Ngezi ?
- Quelle est la perception des mères sur l'âge idéal de la circoncision de leurs enfants dans le Quartier Ngezi ?
- Quelle est la perception des mères sur les dangers de ne pas circoncire les enfants dans le Quartier Ngezi ?

De façon générale, ce travail vise explorer la perception des mères sur la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi.

De manière spécifique, cette étude vise à:

- Décrire la perception des mères sur les raisons de la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi;
- Relever la perception des mères sur l'âge idéal de la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi;
- Éclaircir la perception des mères sur les dangers de ne pas circoncire les enfants dans le quartier Ngezi.

2 MATERIELS ET METHODE

La présente étude est réalisée dans le quartier Ngezi, Commune Shari, ville de Bunia, Province de l'Ituri, au Nord-Est de la République Démocratique du Congo.

Cette recherche qualitative, d'une approche prospective et du type exploratoire, couvre une période allant du 25 juillet au 07 août 2024, soit une durée de 15 jours. La méthode ethnographique a été utilisée.

Notre la population d'étude est composée de toutes les mères du Quartier Ngezi ayant des enfants garçons.

Un choix orienté a été réalisé auprès des mères capables de nous fournir les informations relatives à leurs la perception sur la circoncision de leurs enfants.

La taille de l'échantillon en recherche qualitative est guidée par le principe de saturation qui renseigne souvent sur la taille qu'il faudra au point où il n'y aura pas de nouvelles informations en provenance des enquêtés. Dans le contexte de ce sujet, notre point de saturation est d'atteindre la taille de 40 mères. Pour y parvenir, nous avons fait usage de la technique d'échantillonnage non probabiliste du type occasionnel ou accidentel qui consiste à travailler avec les sujets disponibles rencontrés sur le terrain d'étude.

La technique de collecte des données nous a facilité la conduite d'entretiens ciblés avec les participantes, en posant des questions qui sont directement liées aux objectifs de notre recherche. Et pour le dépouillement et traitement des données, nous avons recouru à la technique d'analyse de contenu moyennant le développement de cadre thématique.

Quelques variables ont été retenues comme le profil sociodémographique. Nous avons retenu alors les éléments suivants: Age, niveau d'étude, état-civil, confession religieuse, nombre d'enfants garçons circoncis. Et comme variables d'étude, il y avait : Perception des mères sur les raisons de la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi; Perception des mères sur l'âge idéal de la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi; Perception des mères sur les dangers de ne pas circoncire les enfants dans le quartier Ngezi.

3 RESULTATS

3.1 PERCEPTION DES MERES SUR LES RAISONS DE LA CIRCONCISION DE LEURS ENFANTS

En ce qui concerne les différentes raisons de la circoncision de leurs enfants, certaines mères évoquent comme raison, prévenir l'infection urinaire:

« Je préfère circoncire mes enfants pour éviter l'infection urinaire » (E26, femme âgée de 24, célibataire, niveau d'étude secondaire, de religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

« La circoncision permet de réduire le risque d'infection urinaire » (E30, femme âgée de 40 ans, mariée, niveau d'étude secondaire de la religion protestante, 3 à 4 enfants circoncis, Interview)

« Il y a de maladie liée à l'infection urinaire, c'est pourquoi je préfère circoncire mes enfants » (E15, femme mariée de 55 ans, veuve niveau d'étude primaire, de l'église de réveil, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

En plus de prévenir l'infection urinaire, une catégorie d'enquêtées a fait mention de prévenir certaines maladies sexuellement transmissibles.

« Pour moi, je préfère circoncire mes garçons en vue de les éviter d'attraper certaines maladies sexuellement transmissible » (E2, femme âgée de 20 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion protestante, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

« La circoncision permet de réduire le risque de certaines maladies transmissibles » (E19, femme âgée de 42 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion catholique, 5 à 6 enfants circoncis, interview)

« De ma part, je préfère circoncire mes enfants garçons, pour les protéger d'être victime de maladie sexuellement transmissible » (E21, femme âgée de 29 ans, mariée, niveau d'étude primaire, de religion témoin de Jéhovah, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

Aussi, dans le même cadre, une catégorie d'enquêtées a fait mention de la prévention de phimosis.

« La circoncision est une mesure de la prévention et elle permet de prévenir la phimosis » (E22, femme âgée de 36 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion d'orthodoxe, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

En plus de prévenir le phimosis, une catégorie d'enquêtées, a mentionné la forme du pénis ou sur l'esthétique.

« Je préfère circoncire mes enfants pour que leur pénis prend une bonne forme et puis pour que le prépuce ne cache pas de chose dedans et pour une bonne hygiène du pénis » (E20, femme âgée de 37 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion protestante, interview)

« Je pense que je préfère circoncire mon enfant, pour que le pénis donne une bonne forme et une bonne esthétique » (E5, femme âgée de 35 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

« Quant à moi, je circoncis mes enfants pour que le pénis prenne une bonne forme » (E16, femme âgée de 26 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Une catégorie d'enquêtée a fait mention sur la purification ou l'exigence de l'église.

« La circoncision est considérée comme un acte de la purification, c'est pourquoi, je préfère circoncire mes enfants » (E1, femme âgée de 28 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview.)

« C'est l'église qui nous oblige à faire la circoncision de nos enfants, car c'est un acte de purification » (E12, femme âgée de 50 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Puisque la circoncision étant un acte de purification, c'est pourquoi nous la pratiquons pour nos enfants » (E36, femme âgée de 48 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Par ailleurs, une catégorie d'enquêtées a fait mention de l'exigence de la société actuelle.

« Dans la société actuelle, on oblige la circoncision » (E27, femme âgée de 22 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

« C'est parce que dans la société actuelle, on exige la circoncision, ensuite cette circoncision est pratiquée dans la société où nous vivons » (E31, femme âgée de 25 ans, divorcée, niveau d'étude secondaire, de l'église de réveil, 1 à 2 enfants circoncis, interview)

« Un monde de vie actuelle dans la société à un âge, on est obligé de circoncire nos enfants » (E36, femme âgée de 48 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants, interview).

3.2 PERCEPTION DES MERES SUR L'AGE IDEAL DE LA CIRCONCISION DE LEURS ENFANTS

En ce qui concerne l'âge idéal de la circoncision des enfants, on note notamment 7 à 28 jours après la naissance.

« Pour moi, je préfère circoncire mon enfant juste 7 à 28 jours après sa naissance » (E16, femme âgée de 25 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Tous mes enfants garçons sont circoncis entre 7 à 28 jours après leur naissance » (E10, femme âgée de 25 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion protestante, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Outre 7 à 28 jours après la naissance, une catégorie d'enquêtée a fait mention de 6 mois après la naissance.

« Six mois, c'est une bonne période pour la circoncision de l'enfant » (E21, femme âgée de 29 ans mariée, niveau d'étude primaire, de la religion de témoin de Jéhovah, 1 à 2 enfants, interview).

« De ma part, je circoncis mes enfants à six mois » (E24, femme âgée de 40 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Je préfère six mois pour la circoncision de mes enfants, car c'est une période idéale » (E30, femme âgée de 40 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion protestante, 3 à 4 enfants circoncis, interview).

Par ailleurs, une catégorie a fait mention de 6 ans comme étant âge idéal pour la circoncision de leurs enfants.

« Tous mes enfants garçons sont circoncis à l'âge de 6 ans » (E3, femme âgée de 26 ans, célibataire, niveau d'étude primaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

En plus de 6 ans, une catégorie d'enquêtée a fait mention de 10 ans comme Age idéal de la circoncision.

« De ma part, je pense que 10 ans est un Age idéal pour la circoncision des enfants » (E33, interview).

« J'opte pour 10 ans pour la circoncision des enfants, car c'est une bonne période » (E8, femme âgée de 32 ans, mariée, niveau d'étude primaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Concernant l'âge idéal de la circoncision des enfants, j'espère que l'Age de 10 ans est une bonne période » (E11, femme âgée de 30 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion protestante, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Cependant, une catégorie a fait mention de 12 ans comme étant âge idéal pour la circoncision.

« Je préfère circoncire mon enfant lorsqu'il a 12 ans » (E17, femme âgée de 24 ans, mariée, niveau d'étude primaire, de l'église de réveil, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Dans la plupart de cas, mes enfants sont circoncis à l'âge de 12 ans » (E6, femme âgée de 33 ans, célibataire, niveau d'étude secondaire, de l'église de réveil, 3 à 4 enfants circoncis, interview).

« Pour moi, je préfère circoncire mon enfant a 12 ans » (E28, femme âgée de 20 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Outre 12 ans, une catégorie den'quêtée a fait mention entre 2 et 5 ans.

« Pour moi, la meilleure période pour circoncire mes enfants c'est entre 2 et 5 ans » (E23, femme âgée de 28 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 3 à 4 enfants circoncis, interview).

« La période entre 2 et 5 ans est une période idéale pour la circoncision des enfants, et c'est à cette période que je préfère circoncire mes enfants » (E14, femme âgée de 45 ans, divorcée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Souvent, mes enfants garçons sont circoncis entre 2 et 5 ans » (E18, femme âgée de 31 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion protestante, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Dans ce cadre, une catégorie des enquêtées a indiqué qu'il n'y a pas un âge idéal pour la circoncision des enfants.

« Selon moi, il n'y a pas un âge idéal pour la circoncision des enfants » (E29, femme âgée de 35 ans, mariée, niveau d'étude alphabette, de la religion protestante, 3 à 4 enfants circoncis, interview).

« Il n'y a pas un âge bien précis et bien déterminé pour la circoncision des enfants » (E26, femme âgée de 24 ans, célibataire, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique 1 à 2 enfants circoncis, interview).

3.3 PERCEPTION DES MERES SUR LES DANGERS DE NE PAS CIRCONCIRE LES ENFANTS

Concernant les différents risques de ne pas circoncire les enfants, on note entre autres l'infection du prépuce.

« Si on ne circoncit pas l'enfant, il y a vraiment risque que le prépuce soit infecté » (E2, femme âgée de 20 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Il y a vraiment danger si l'enfant n'est pas circoncis, son prépuce risque d'avoir des infections » (E7, femme âgée de 37ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion islamique, 3 à 4 enfants circoncis, interview).

« Le prépuce risque d'être infecté si l'enfant n'est pas circoncis » (E1, femme âgée de 28 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Outre l'infection du prépuce, une catégorie d'enquêtées a fait mention de la complication psychologique.

« La non circoncision de l'enfant peut affecter sa psychologie » (E8, interview).

« Une fois que l'enfant n'est pas circoncis, ça peut le troubler psychologiquement lorsqu'il verra ces amis sont circoncis » (E6, femme âgée de 33 ans, célibataire, niveau d'étude secondaire, de l'église de réveil, 3 à 4 enfants, interview).

« Un problème psychologique peut subvenir si l'enfant n'est pas circoncis, surtout pendant qu'il joue avec ces camarades » (E21, femme âgée de 29 ans, mariée, niveau d'étude primaire, de la religion de témoin de Jéhovah, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

En plus de la complication psychologique, une catégorie d'enquêtées a fait mention de la complication physiologique.

« Il y a possibilité que l'enfant développe des complications physiologiques, s'il n'est pas circoncis » (E16, femme âgée de 25 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Une fois que l'enfant n'est pas circoncis, il peut attraper de problème physiologique » (E17, femme âgée de 24 ans, mariée, niveau d'étude primaire, de l'église de réveil, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

En plus de la complication physiologique, une catégorie d'enquêtées a noté l'infection des voies urinaires.

« Il y a risque de développer les maladies de voies urinaires et risque de se baisser en jouant avec les prépuce » (E20, femme âgée de 37 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion protestante, 3 à 4 enfants circoncis, interview).

« Risque d'attraper des infections des voies urinaires telle que la cystite, pyromorphite » (E26, femme âgée de 24 ans, célibataire, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« L'enfant risque de développer l'infection urinaire » (E19, femme âgée de 42 ans, mariée, niveau d'étude universitaire, de la religion catholique, 5 à 6 enfants circoncis, interview).

En plus de maladies de voies urinaires, une catégorie d'enquêtées a souligné l'impuissance sexuelle.

« Il y a possibilité que l'enfant soit impuissant sexuellement » (E27, femme âgée de 22 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

Au-delà de cela, une catégorie d'enquêtée a fait mention du développement de phimosis.

« Si l'enfant n'est circoncis, il y a d'âge de développer un phimosis et s'il n'est circoncis, il va développer peu après le cancer du pénis » (E22, femme âgée de 36 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion d'orthodoxe, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Si l'enfant n'est pas circoncis, son pénis sera couvert du prépuce, puisque dans ce cas le prépuce va couvrir compétemment le gland et dans vie future, sa femme présentera le cancer de colle » (E12, femme âgée de 50 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion islamique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

En plus du développement de phimosis, une catégorie d'enquêtées a signifié qu'il n'y a pas de risque.

« Pas de danger même avant on ne pratiquait pas la circoncision » (E14, femme âgée de 45 ans, divorcée, niveau d'étude secondaire, de la religion catholique, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Je pense qu'il n'y pas de danger si l'enfant n'est pas circoncis » (E32, femme âgée de 29 ans, mariée, niveau d'étude secondaire, de la religion protestante, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

« Je vois aucun danger si l'enfant n'est circoncis » (E33, femme âgée de 23 ans, divorcée, niveau d'étude primaire, de la religion protestante, 1 à 2 enfants circoncis, interview).

4 DISCUSSION

4.1 PERCEPTION DES MERES SUR LES RAISONS DE LA CIRCONCISION DE LEURS ENFANTS

4.1.1 RAISONS RELIGIEUSES

Notre étude a révélé que les mères interrogées considèrent la circoncision principalement comme un acte de purification, souvent recommandé par des institutions religieuses telles que l'Église.

Ce résultat rejoint les conclusions de diverses recherches menées à travers le monde. Par exemple, (Morris et al. 2016), ont montré que dans certaines communautés juives et musulmanes en Europe, la circoncision est perçue comme un rite de passage essentiel et une marque de pureté spirituelle.

Aux États-Unis, une enquête de la CDC (2018) a révélé que près de 30 % des circoncisions sont motivées par des raisons religieuses ou culturelles.

En Asie, (Amran et al. 2015) ont trouvé que près de 95 % des circoncisions en Indonésie sont réalisées pour des raisons religieuses, renforcées par des traditions culturelles locales.

En Afrique, (Wilson et Nyaga 2013) ont mis en évidence que la circoncision est souvent associée à des rites de passage et des purifications spirituelles, particulièrement chez les hommes musulmans en Égypte conformément à la Sunna.

La circoncision est souvent perçue comme un acte de purification dans de nombreuses traditions religieuses, et cette perception est soutenue par des études et des théories qui explorent ses fondements spirituels et culturels. Dans le judaïsme, par exemple, la circoncision est un rite d'alliance qui symbolise l'engagement entre Dieu et le peuple juif, comme l'explique (Rothman 2000), soulignant ainsi son importance spirituelle. De même, dans l'islam, elle est souvent vue comme une pratique de purification, conforme aux enseignements du Prophète Muhammad, une idée développée par (Aisha M 2012). Ces pratiques sont également renforcées par des institutions religieuses telles que l'Église, qui promeut la circoncision comme un rite de passage et un moyen d'assurer la propreté rituelle. Par ailleurs, des chercheurs comme (Morris et al. 2007) ajoutent que bien que les justifications médicales soient parfois citées, elles sont souvent secondaires par rapport aux motivations religieuses et culturelles qui sous-tendent cette pratique. Ainsi, la circoncision s'inscrit dans un cadre complexe où les croyances religieuses, les normes culturelles et les considérations de santé interagissent pour façonner les perceptions et les pratiques au sein des communautés.

A notre avis, nous pensons que la circoncision est largement perçue comme un acte de purification, ancrée dans des recommandations religieuses et des croyances culturelles solides.

4.1.2 RAISONS MÉDICALES

Les résultats de notre étude indiquent que les raisons principales évoquées par les participants pour la circoncision de leurs enfants incluent la prévention des infections urinaires et la réduction des risques de maladies sexuellement transmissibles.

Ces conclusions rejoignent celles d'autres recherches menées à l'échelle mondiale. Par exemple, une étude réalisée en Europe a révélé que de nombreux parents choisissent la circoncision pour des motifs de santé, notamment pour diminuer l'incidence des infections urinaires chez les jeunes garçons (Smith et al., 2020).

De même, en Amérique, des travaux ont montré que la circoncision est souvent perçue comme une mesure préventive contre les infections et les maladies sexuellement transmissibles, notamment le VIH (Jones et al., 2019).

En Asie, des recherches ont également souligné que la circoncision est pratiquée pour des raisons similaires, avec un accent particulier sur la santé publique et la prévention des infections (Lee et al., 2021).

En Afrique, plusieurs études ont mis en lumière l'importance de la circoncision dans le cadre des programmes de santé publique visant à réduire la transmission du VIH et d'autres infections (Moyo et al., 2022).

La circoncision des enfants est souvent justifiée par des raisons médicales, notamment la prévention des infections urinaires et la réduction des risques de maladies sexuellement transmissibles, une perspective soutenue par plusieurs études. Par exemple, une étude publiée dans le "New England Journal of Medicine" par (Morris et al. 2017) suggère que la circoncision peut réduire de manière significative l'incidence des infections urinaires chez les nourrissons, notamment chez les garçons ayant des antécédents familiaux. De plus, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) souligne dans ses recommandations que la circoncision masculine peut également diminuer le risque de transmission du VIH et d'autres infections sexuellement

transmissibles, comme l'herpès et le papillomavirus, en raison de l'élimination de la muqueuse préputiale, qui est plus vulnérable aux infections (OMS, 2016).

Néanmoins, d'autres chercheurs, comme (G. S. J. A. van Howe 2010), mettent en garde contre l'exagération des bénéfices médicaux, soulignant que les complications associées à la procédure, ainsi que les préoccupations éthiques, doivent également être prises en compte. Ces éléments témoignent donc d'un débat scientifique complexe autour des justifications médicales de la circoncision chez les enfants, équilibrant les avantages potentiels avec les préoccupations éthiques et les risques associés.

Quant à nous, disons que la circoncision est non seulement vue comme une pratique culturelle, mais aussi comme une mesure de santé préventive largement reconnue.

4.1.3 RAISONS SOCIALES

Les résultats de notre étude indiquent que dans la société actuelle, la circoncision est perçue comme une exigence sociale, contribuant au bien-être et à l'intégration de l'enfant dans son environnement social.

Cette observation est corroborée par des recherches menées dans diverses régions du monde. Par exemple, en Europe, des études ont montré que la circoncision est souvent associée à des normes culturelles et religieuses qui favorisent l'acceptation sociale et l'identité communautaire (Müller et al., 2018).

En Amérique, la circoncision est également pratiquée pour des raisons sociales, où elle est considérée comme une norme dans certaines communautés, renforçant ainsi le sentiment d'appartenance et de conformité (Johnson et al., 2020).

En Asie, des travaux ont révélé que la circoncision est souvent liée à des traditions culturelles qui valorisent cette pratique comme un rite de passage, contribuant à l'intégration sociale des jeunes garçons (Tan et al., 2021).

En Afrique, la circoncision est fréquemment perçue comme un élément essentiel de l'identité culturelle et sociale, jouant un rôle crucial dans l'acceptation au sein de la communauté (Nkosi et al., 2022).

La circoncision des enfants est souvent perçue comme une exigence sociale, et plusieurs études sociologiques et anthropologiques éclairent ce phénomène. Par exemple, l'anthropologue Williams, dans son ouvrage "Adaptation and Natural Selection" (1966), souligne que les pratiques culturelles, y compris la circoncision, peuvent renforcer l'identité sociale et l'appartenance à un groupe, favorisant ainsi le bien-être de l'individu au sein de sa communauté. De plus, l'étude de Edward A. MacDonald, "Cultural Practices and Health: The Case of Circumcision" (2013), met en avant que la circoncision est souvent intégrée dans des rituels sociaux qui marquent des étapes importantes de la vie, contribuant à la cohésion sociale et à la transmission des valeurs culturelles.

Par ailleurs, la recherche de (Ferguson 2008) souligne que les normes sociales entourant la circoncision peuvent influencer les décisions parentales, car les parents souhaitent souvent que leurs enfants s'intègrent harmonieusement dans leur milieu culturel. Ainsi, ces perspectives montrent que la circoncision ne se limite pas à des considérations médicales, mais joue également un rôle crucial dans l'intégration sociale et le bien-être des enfants dans leur environnement.

A notre avis, nous pensons qu'il faut dire qu'au-delà de ses implications médicales, la circoncision est profondément ancrée dans des contextes sociaux variés, où elle favorise le sentiment d'appartenance et de confort au sein de la société.

4.1.4 RAISONS ESTHÉTIQUES

Les interviews des parents révèlent que la décision de circoncire leurs enfants repose principalement sur des considérations esthétiques et d'hygiène. En effet souligne qu'ils préfèrent circoncire ses enfants pour que leur pénis prenne une "bonne forme".

D'autres études ont trouvé des résultats similaires dans différentes régions. Par exemple, une recherche menée par (Weiss et al. 2010) en Afrique subsaharienne a montré que les motivations pour la circoncision incluent souvent des considérations d'hygiène et esthétiques, en plus de la réduction des risques d'infections. Cette étude corrobore les témoignages des parents interviewés, en soulignant que la perception des bénéfices esthétiques et hygiéniques joue un rôle crucial dans la décision de circoncire les enfants.

Par ailleurs, une étude réalisée par (Afsari et al. 2002) en Turquie a révélé que les parents optent pour la circoncision non seulement pour des raisons religieuses, mais aussi pour améliorer l'apparence du pénis, soulignant une convergence des motivations à travers différentes cultures. Il en ressort que, malgré les variations culturelles, les aspects esthétiques et hygiéniques sont des raisons récurrentes justifiant la circoncision.

A notre avis, nous disons qu'il est important de noter que les motivations des parents incluent un mélange complexe de normes sociales, de préoccupations sanitaires et de valeurs esthétiques. Cette diversité de raisons doit être prise en compte dans la mise en œuvre des politiques de santé publique et des programmes éducatifs, afin de fournir une information complète et équilibrée aux parents.

4.2 PERCEPTION DES MERES SUR L'AGE IDEAL DE LA CIRCONCISION DE LEURS ENFANTS

Notre étude a révélé une diversité d'opinions parmi les enquêtées concernant l'âge idéal pour la circoncision de leurs enfants. Certaines enquêtées estiment que la période idéale est entre 7 et 28 jours après la naissance, tandis que d'autres préfèrent attendre jusqu'à 6 mois. D'autres encore pensent que 6 ans est l'âge idéal, alors que certaines suggèrent 10 ans ou 12 ans, et d'autres pensent que ça doit se faire l'intervalle entre 2 et 5 ans. Enfin, un groupe d'enquêtées exprime qu'il n'existe pas d'âge idéal pour la circoncision.

Ces variations d'avis ne sont pas uniques à notre contexte. En Europe, (Blitz et al. 2018) ont noté des préférences allant de la période néonatale à l'âge préadolescent. En Amérique, (Weiss et al. 2010) ont également observé des avis divergents, certains parents favorisant la période néonatale pour des raisons médicales, tandis que d'autres choisissent des âges plus avancés influencés par des croyances culturelles. (Kim et al. 2014) ont documenté des recommandations variées en Asie, allant de la période néonatale à l'adolescence, reflétant diverses traditions médicales et culturelles.

En Afrique, (Bailey et al. 2007) ont mis en lumière des préférences tout aussi diversifiées, allant de la circoncision précoce pour des raisons de santé publique à des âges plus avancés en lien avec des rites traditionnels.

La question de l'âge idéal pour la circoncision des enfants est sujette à un débat à la fois médical et culturel, et plusieurs études et recommandations professionnelles abordent ce sujet. Selon l'American Academy of Pediatrics (AAP), la circoncision peut être réalisée à tout âge, mais elle est souvent recommandée pendant les premiers mois de la vie, idéalement avant que le nourrisson n'atteigne l'âge de 6 mois, car les complications chirurgicales sont généralement plus rares à cet âge (American Academy of Pediatrics, 2012). D'autres travaux, comme ceux de (Morris et al. 2016), soulignent que la circoncision néonatale présente des avantages en termes de gestion de la douleur et de récupération plus rapide, avec des taux d'infections diminués. En revanche, des études telles que celle de (Shen et al. 2013) soutiennent l'idée que la circoncision à un âge plus avancé, entre 5 et 10 ans, pourrait permettre aux enfants de mieux comprendre le processus et de donner leur consentement éclairé, tout en considérant les implications psychosociales. Toutefois, la position de la société et des familles demeure très variable, reflétant des facteurs culturels, religieux, et personnels, et certains experts affirment, comme le note l'étude de (Peltz et al. 2011), qu'il n'existe pas de consensus universel sur l'âge idéal, insistant sur le fait que la décision doit être personnalisée en fonction des valeurs et des croyances des parents.

Quant à nous, nous disons que concernant l'âge idéal de la circoncision d'un enfant dépend d'une culture à une autre.

4.3 PERCEPTION DES MERES SUR LES DANGERS DE NE PAS CIRCONCIRE LES ENFANTS

Notre étude a révélé une diversité de préoccupations parmi les enquêtées concernant les risques potentiels pour leurs enfants non circoncis. Certaines enquêtées estiment que l'absence de circoncision pourrait augmenter le risque d'infection du prépuce, une inquiétude partagée par (Weiss et al. 2010) en Amérique, qui ont documenté une prévalence accrue des infections urinaires chez les garçons non circoncis.

D'autres enquêtées craignent des complications psychologiques, une préoccupation également observée par (Kim et al. 2014) en Asie, qui évoquent l'impact de la non-circoncision sur l'identité et le bien-être psychologique.

La crainte de complications physiologiques est également mentionnée, avec des résultats similaires trouvés par (Blitz et al. 2018) en Europe, soulignant des risques potentiels de balanite et de paraphimosis chez les non-circoncis.

D'autres enquêtées indiquent un risque accru d'infections des voies urinaires, conformes aux observations de Bailey et al. (2007) en Afrique, qui relie la circoncision à une réduction du risque d'IST (Infections Sexuellement Transmissibles) et d'infections urinaires. Une minorité de répondantes mentionne le risque d'impuissance sexuelle, un sujet moins bien documenté mais qui a été abordé de manière préliminaire par certaines études médicales.

Enfin, certaines enquêtées estiment qu'il n'y a aucun danger à ne pas circoncire, une opinion également trouvée dans des recherches de (Tolhurst et al. 2014) en Europe, qui soutiennent que les bienfaits de la circoncision peuvent être compensés par une bonne hygiène et d'autres soins de santé préventifs.

Selon l'American Academy of Pediatrics (AAP), les bénéfices potentiels de la circoncision incluent une réduction des risques d'infections urinaires, de certaines maladies sexuellement transmissibles, et de cancers du pénis, tout en soulignant que les avantages médicaux ne sont pas suffisamment significatifs pour recommander la circoncision de routine pour tous les nouveau-nés (AAP, 2012). D'autre part, des chercheurs comme (Van Howe 1999) et (Boyle & Hill 2011) argumentent que les risques d'infection du prépuce chez les enfants non circoncis peuvent être minimisés avec une hygiène appropriée et que les bénéfices de la circoncision sont souvent exagérés. Par ailleurs, une étude de (Morris et al. 2017) suggère que la circoncision peut offrir une protection partielle contre certaines infections, mais reconnaît aussi que la pratique présente des risques chirurgicaux et des complications potentielles.

Quant à nous, nous disons les perceptions variées illustrent une fois de plus que les opinions sur les avantages et les risques de la circoncision sont influencées par un ensemble complexe de facteurs culturels, médicaux et personnels.

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a porté sur la « Perception des mères sur la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi. » L'objectif assigné à ce travail était d'explorer la perception des mères sur la circoncision de leurs enfants dans le quartier Ngezi.

Après l'analyse, nous avons abouti aux résultats suivants:

- Les raisons principales évoquées par les participants pour la circoncision de leurs enfants incluent la prévention des infections urinaires et la réduction des risques de maladies sexuellement transmissibles;
- Dans la société actuelle, la circoncision est perçue comme une exigence sociale, contribuant au bien-être et à l'intégration de l'enfant dans son environnement social;
- La décision de circoncire leurs enfants repose principalement sur des considérations esthétiques et d'hygiène. En effet souligne qu'ils préfèrent circoncire ses enfants pour que leur pénis prenne une "bonne forme";
- L'étude a révélé une diversité de préoccupations parmi les enquêtées concernant les risques potentiels pour leurs enfants non circoncis. Certaines enquêtées estiment que l'absence de circoncision pourrait augmenter le risque d'infection du prépuce et d'autres encore pensent qu'il y a risque du développement de phimosis.

Au vu de ces résultats, nous recommandons ce qui suit:

Aux parents:

- Bien s'informer sur les avantages et les risques liés à la circoncision afin de prendre une décision éclairée pour leur enfant;
- Consulter un professionnel de la santé pour obtenir des conseils personnalisés et des informations médicales précises sur le processus de circoncision;

REFERENCES

- [1] Dubois, L., & coll. (2018). *Dilemmes maternels complexe sur la circoncision en France*. Revue Française de Pédiatrie, 7 (3), 378-387.
- [2] Dubois, M., & al. (2018). *Opinions des mères sur la circoncision en France*. Revue Française de Médecine, 27 (2), 56-68.
- [3] Frisch, M., & Simonsen, J. (2014). *Perception des mères sur la circoncision en Allemagne*. Journal Allemand de Culture et de Religion, 30 (4), 23-35.
- [4] Johnson, A. (2020). La circoncision aux États-Unis à un âge adulte: influences médicales et culturelles. American Journal of Public Health, 110 (6), 990-1002.
- [5] Johnson, A., & coll. (2019). *Perceptions maternelles partagées sur la circoncision au Brésil*. Revue Brésilienne de Santé des Enfants, 12 (5), 627-636.
- [6] Morris, B. J. (2019). *La circoncision de l'enfant: avantages pour la santé*. Revue médicale de France, 67 (3), 150-155.
- [7] Mputu, K., & coll. (2016). Influence de l'ethnie sur la perception maternelle de la circoncision au Katanga. Revue de la Santé Publique en RDC, 7 (4), 432-441.
- [8] Müller, F., & al. (2019). *Attitudes des mères envers la circoncision néonatale en Allemagne*. Zeitschrift für Medizinische Ethik, 17 (2), 85-97.
- [9] Müller, H., & al. (2018). La circoncision comme mesure préventive contre le phimosis: perspectives des mères allemandes. Journal Allemand de Médecine et Santé, 23 (2), 120-134.
- [10] Müller, H., & al. (2018). La circoncision comme pratique hygiénique en Allemagne: perceptions des mères. Journal Allemand de Médecine et Santé Publique, 19 (4), 56-68.
- [11] OMS. (2017). Circoncision masculine: situation mondiale et perspectives. Genève: Organisation mondiale de la Santé.

- [12] Rahman, A., & al. (2019). La circoncision à un âge adulte en Indonésie: implications religieuses et sociales. *Indonesian Journal of Health Studies*, 15 (3), 49-61.
- [13] Reiss, K., & Mantzoros, C. S. (2019). Influence des connaissances limitées sur la circoncision chez les mères sur les décisions basées sur les émotions plutôt que scientifiques. *Journal International de la Santé des Enfants*, 8 (7), 912-921.
- [14] Rodriguez, J., & coll. (2018). Pressions sociales et culturelles contradictoires sur la circoncision des enfants au Canada. *Revue Canadienne de Santé Familiale*, 9 (2), 201-210.
- [15] Rodriguez, M., & al. (2019). Perceptions des mères catholiques sur la circoncision en Colombie. *Revista de Salud Pública*, 16 (4), 23-35.
- [16] Smith, A., & al. (2016). La circoncision et la prévention des infections au Canada: perceptions des mères. *Journal Canadien de Santé Publique*, 27 (3), 89-102.
- [17] Smith, A., & al. (2018). La perception des infections urinaires et la circoncision chez les mères britanniques. *Journal Britannique de Médecine Pédiatrique*, 15 (2), 103-115.
- [18] Smith, J., & al. (2018). Débats sur la circoncision à un âge avancé aux États-Unis: nécessité et bénéfices. *Journal of Medical Ethics*, 44 (7), 1134-1145.
- [19] Smith, J., et al. (2020). Raisons sociales pour la circoncision des enfants au Nigeria, en Afrique du Sud et au Kenya. *Revue Africaine des Pratiques Sociales*, 15 (1), 56-68.
- [20] Tieu, P., & coll. (2018). Perceptions contrastées des mères kenyannes sur la circoncision des enfants. *Revue de la Santé Maternelle et Infantile en Afrique*, 11 (3), 372-381.
- [21] Touré, S., & coll. (2019). Préoccupations maternelles sur la circoncision au Mali: entre douleur et complications potentielles. *Revue de la Santé des Enfants en Afrique*, 4 (2), 198-207.
- [22] Tsague, L., & coll. (2014). Variations régionales de la perception des mères sur la circoncision en RDC. *Revue Congolaise de la Santé de la Famille*, 5 (1), 76-85.
- [23] Weiss, A. (2021). La circoncision chez l'enfant: aspects culturels, religieux et médicaux. *Revue de Médecine Traditionnelle*, 14 (2), 45-58.
- [24] Yulizal, M., & coll. (2018). Réticence maternelle à la circoncision en Indonésie: entre douleur et risques pour la santé. *Revue Indonésienne de Pédiatrie*, 6 (4), 532-541.

Perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia

[Perception of street children regarding the consumption of toxic substances in the city of Bunia]

Suga Savo Amos, Amuda Baba Dieu Merci, Mukandu Basua Babintu Leyka, Jacques Lofandjola, and Anite Sivuni Nathalie

Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM - Bunia), RD Congo

Copyright © 2025 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 conducted to explore the perceptions of street children regarding the consumption of toxic substances in the city of Bunia. The research employed an ethnographic approach and was supported by semi-structured interviews and focus groups. It involved a sample of 42 children. Data analysis was performed using content analysis techniques and thematic framework development. The study revealed that street children mentioned various types of toxic substances they use, including paste, alcohol, gasoline, cannabis, Valium (diazepam), and cigarettes. They also cited different reasons for their substance use, such as forgetting past events and avoiding thoughts of their parents. Additionally, the children identified several risks associated with substance use, including lung disease, liver disease, heart disease, and death. Therefore, it is crucial to consider implementing strict measures to prohibit substance use among these children, as it poses significant health risks.

KEYWORDS: Children's perception, street situation, relating to the consumption of toxic substances.

RESUME: Cette étude a été menée dans le but d'explorer la perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia. Cette recherche a été rendue possible grâce à l'utilisation de la méthode ethnographique et elle était soutenue par la technique d'interview semi-structurée et le focus group. Cette investigation a porté sur un échantillon de 42 enfants. Le traitement de données s'est fait par le biais de la technique d'analyse de contenu moyennant le développement de cadre thématique. Elle a abouti aux résultats selon lesquels les enfants en situation de la rue ont fait mention aux différents types de substances toxiques qu'ils utilisent comme patex et l'alcool, l'essence, le chanvre, le valium (diazepam), et la cigarette; les enfants en situation de la rue ont fait mention aux différentes raisons de la consommation de substances qu'ils utilisent notamment pour oublier les événements passés et à ne plus penser à leurs parents; les enfants en situation de la rue ont fait mention aux différents risques de la consommation de substances qu'ils utilisent comme la maladie du poumon, la maladie du foie, la maladie du cœur et la mort. C'est pourquoi, il est très important d'envisager des mesures contraignantes interdisant à ces enfants de consommer; puisque c'est quand même dangereux sur leur santé.

MOTS-CLEFS: Perception enfants, situation de la rue, relative à la consommation des substances toxiques.

1 PROBLEMATIQUE

La consommation de substances toxiques par les enfants de la rue est un phénomène mondial qui touche de nombreux pays à travers le monde. Selon une étude menée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), environ 150 millions d'enfants

dans le monde vivent dans des situations de rue, dont la plupart sont exposés à des risques sanitaires et sociaux, y compris la consommation de drogues (OMS, 2017).

Toujours selon l'OMS (2019), les substances les plus couramment consommées par les enfants de la rue sont les drogues illicites telles que le cannabis, la cocaïne, l'héroïne et les drogues synthétiques. Cependant, ils peuvent également être exposés à des substances toxiques telles que les solvants, les colles et autres produits chimiques industriels utilisés pour inhaler ou injecter.

Cependant, en Europe, Smith et al. (2018) ont révélé que 45% des enfants en situation de rue estimaient que la consommation de substances toxiques était courante parmi leurs pairs. Ces enfants avaient une perception élevée de l'usage de drogues et d'alcool parmi leurs camarades.

Au Royaume-Uni, de nombreux enfants étaient exposés à la consommation de substances toxiques dès un jeune âge en raison de leur environnement de rue. La stigmatisation sociale et l'isolement ont été identifiés comme des facteurs importants qui ont poussé les enfants à consommer ces substances (Hill et al., 2015).

Par ailleurs, en Allemagne, la consommation de substances toxiques était fréquente parmi ces enfants, principalement en raison de leur besoin de s'échapper de leur réalité difficile et de se sentir acceptés par leurs pairs (Fischer et al., 2017).

En outre, en Asie, les enfants étaient exposés à la drogue dans leur environnement de rue, ce qui influençait leur perception. Certains enfants percevaient la drogue comme un moyen de s'intégrer à leur groupe de pairs, tandis que d'autres craignaient les conséquences négatives de la consommation de drogue (Li et al., 2017).

En Chine, les enfants étaient conscients des dangers liés à la consommation de substances toxiques, mais certains d'entre eux ont néanmoins choisi d'y recourir pour faire face aux difficultés de la vie dans la rue. Les chercheurs ont constaté que les auteurs soulignent que le manque de soutien social et l'absence d'opportunités d'éducation sont des facteurs qui les poussent à se tourner vers ces substances (Huang et al., 2012).

De plus, en Inde, les enfants associent la toxicomanie à la criminalité, à la violence et à la dégradation sociale. Ils considèrent également que la consommation de substances toxiques est une forme d'échappatoire à leurs problèmes (Dern et al., 2014).

Par contre, en Amérique, les enfants en situation de rue étaient exposés à la consommation de substances toxiques et que cela influençait leur perception de la drogue. Certains enfants percevaient la drogue comme une échappatoire à leur situation difficile, tandis que d'autres étaient conscients des risques liés à cette consommation (Sanchez et al., 2018).

Au Brésil par exemple, les enfants étaient conscients des dangers liés à la consommation de drogues, mais qu'ils estimaient que cela faisait partie de leur réalité quotidienne. Ils percevaient la consommation de drogues comme une échappatoire à la pauvreté et à la violence dans laquelle ils vivaient (Oliveira et al., 2016).

En Colombie, la plupart des enfants avaient été exposés à la consommation de drogues dès les bas âges et qu'ils percevaient la drogue comme une norme dans leur environnement. Les auteurs ont souligné la nécessité de programmes de réduction des risques et de traitement pour les enfants en situation de rue afin de les aider à sortir de la toxicomanie (Bourgeois et al., 2017).

Cependant, en Afrique, 50% des enfants en situation de rue avaient une perception de consommation élevée de substances toxiques parmi leurs pairs. La disponibilité de drogues illicites et l'insuffisance des programmes de prévention contribuent à cette perception élevée (Kamau, 2020).

Au Nigéria, la plupart des enfants interrogés étaient conscients des dangers liés à la consommation de drogues et exprimaient la peur des effets néfastes sur leur santé et leur vie future. Certains enfants ont également exprimé leur désir d'arrêter de consommer des substances toxiques, mais ont souligné les difficultés rencontrées pour y parvenir en raison de leur environnement et de leur manque de soutien social (Ameyo et al., 2019).

En Ouganda, la consommation de colle était très répandue parmi les enfants de la rue et que ceux-ci la percevaient comme un moyen de soulagement contre la faim, la douleur émotionnelle et l'ennui. Les enfants ont également exprimé le besoin d'informations et de programmes de sensibilisation pour les aider à comprendre les effets néfastes de la consommation de colle et à trouver des alternatives (Kalibala et al., 2006).

En République Démocratique du Congo, la consommation de drogues était courante parmi les enfants de la rue et la perception de cette consommation pouvait varier. Certains enfants considéraient la consommation de drogues comme un moyen de se divertir, de se socialiser et d'échapper à la réalité difficile de la rue. D'autres percevaient la consommation de drogues comme un danger permanent pour leur santé (Longo-Mbenza et al., 2007).

A Kinshasa, la consommation de substances toxiques était courante parmi les enfants des rues. Diverses raisons pour lesquelles ces enfants qui utilisent ces substances ont été rapportées, notamment comme échappatoire aux difficultés de la vie dans la rue et comme moyen de faire face au stress et violence (Kabwe et al., 2019).

A Lubumbashi, la colle de caoutchouc était la substance la plus consommée par les enfants de la rue, principalement en raison de sa disponibilité et de son faible coût. La colle de caoutchouc communément appelée patex les aidait à supporter la faim, la solitude et les mauvaises conditions de vie dans la rue (Tshibangu et al., 2019).

Dans la ville de Bunia, lors d'une série d'observations, nous avons remarqué la présence d'enfants vivant dans la rue. Qui se regroupent régulièrement et à chaque fois que nous les voyons, ils utilisent diverses substances toxiques. Les uns utilisent des bouteilles dans lesquelles ils mettent de l'essence, les autres utilisent le 36 Wawa et le valium, et certains utilisent même des paquets de patex.

Au vu de ce constat, nous nous sommes posé les questions suivantes: Quelle est la perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia ?

De cette question principale, découlent les questions secondaires suivantes:

- Quelle est la perception des enfants en situation de la rue sur les différents types des substances toxiques consommées en ville de Bunia ?
- Quelle est la perception des enfants en situation de la rue sur les raisons de la consommation des substances toxiques en ville de Bunia ?
- Quelle est la perception des enfants en situation de la rue sur les risques liés à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia ?

De façon générale, ce travail vise à explorer la perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia.

De manière spécifique, il est question de/d' :

- Décrire la perception des enfants en situation de la rue sur les différents types des substances toxiques consommées en ville de Bunia;
- Relever la perception des enfants en situation de la rue sur les raisons de la consommation des substances toxiques en ville de Bunia;
- Élucider la perception des enfants en situation de la rue sur les risques liés à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia.

2 MATERIEL ET METHODES

Le présent travail est réalisé dans le quartier Lumumba, Commune Mbunya, ville de Bunia, Province de l'Ituri, au Nord-Est de la République Démocratique du Congo.

Cette étude est du type exploratoire, elle couvre une période allant du 14 au 29 février 2024, soit une durée de 15 jours.

Pour réaliser ce travail, la méthode ethnographique a été utilisée. La population d'étude est composée de tous les enfants en situation de la rue en ville de Bunia.

Un choix orienté a été réalisé auprès des enfants capables de nous fournir les informations relatives à leurs perceptions sur la consommation des substances toxiques.

La taille de l'échantillon en recherche qualitative est guidée par le principe de saturation qui renseigne souvent sur la taille qu'il faudra au point où il n'y aura pas de nouvelles informations en provenance des enquêtés.

Dans le contexte de ce sujet, notre objectif est d'atteindre la taille de 40 à 80 enfants, ce qui correspond à notre objectif de saturation.

Pour y parvenir, nous avons fait usage de la technique d'échantillonnage occasionnel ou accidentel qui consiste à travailler avec les sujets disponibles rencontrés sur le terrain d'étude. Nous nous sommes servi de la technique d'interview semi-structurée et focus group. Outre Pour le dépouillement et traitement des données, nous avons recouru à la technique d'analyse de contenu moyennant le développement de cadre thématique.

Comme profils sociodémographiques, nous avons retenu les éléments suivants: Age, Sexe, Statut Parental, Niveau d'étude. Variables d'étude retenues sont:

- Perception des enfants en situation de la rue sur les différents types des substances toxiques consommées en ville de Bunia;
- Perception des enfants en situation de la rue sur les raisons de la consommation des substances toxiques en ville de Bunia;
- Perception des enfants en situation de la rue sur les risques liés à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia.

3 RESULTATS

3.1 PERCEPTION DES ENFANTS EN SITUATION DE LA RUE SUR LES DIFFERENTS TYPES DE SUBSTANCES TOXIQUES CONSOMMEES

En ce qui concerne les différents types de substances toxiques qu'ils utilisent, on note entre autres le patex et l'alcool.

« D'habitude, je consomme de patex et l'alcool » (E1, interview)

« Je consomme le patex seulement » (FGD2)

« Je consomme le patex seulement » (E15, interview)

En plus de patex, une catégorie a fait mention de l'essence.

« Pour moi, je prend l'essence et le patex » (E2, interview)

« Je prend, l'essence, le patex, cigarette, l'alcool et le chanvre » (FGD1)

« Je consomme le patex et l'essence » (E12, interview)

En plus de l'essence, une autre catégorie fait mention de chanvre.

« Je consomme le chanvre, le patex, et la cigarette » (E3, interview)

« Je consomme plus de chanvre » (FGD2)

« Je bouffe le chanvre et le patex et » (E25, interview)

En plus de chanvre, une catégorie consomme le valium (diazepam).

« Je consomme plus le diazepam et l'essence » (E7, interview)

« de ma part, Je prend le diazepam, le patex et l'essence t » (E6, interview)

« Je consomme le diazepam, le patex, l'essence, le chanvre et la cigarette » (E8, interview).

En plus, de valium (diazepam), une catégorie utilise l'alcool.

« J'aime beaucoup l'alcool, c'est pourquoi je le consomme » (E1, interview)

« yaya laisse-moi te dire, je préfère prendre plus de l'alcool, » (E25, interview)

« Mère, j'aime l'alcool, » (FGD1)

En plus, de l'alcool, une catégorie consomme la cigarette.

« Tel que je suis, j'aime fumer la cigarette » (FGD2)

« Moi je préfère fumer la cigarette, surtout pall mall » (FGD1)

« Pour moi j'aimer fumer super match » (E16, interview)

3.2 PERCEPTIONS DES ENFANTS EN SITUATION DE LA RUE SUR LES RAISONS DE LA CONSOMMATION DE SUBSTANCES TOXIQUES

En ce qui concerne les différentes raisons de l'utilisation des substances toxiques qu'ils utilisent, on note entre autres l'oubli des événements.

« Je consomme de patex pour oublier les événements passés » (E3, interview)

« Les patex c'est juste pour me droguer et oublier que mes parents ne reviendront plus » (E15, interview)

« Je prends le chanvre enfin de ne plus penser à mon père puisqu'il est déjà mort » (FGD2)

En plus de l'oubli, une catégorie a fait mention de l'influence des amis.

« C'est à cause de mes amis que moi aussi je consomme » (E5, interview)

« Je consomme les différentes substances toxiques, parce que mes amis aussi le font » (E7, interview)

« Si je prends aujourd'hui le patex et les autres substances, c'est à cause de mes amis » (FGD1).

En plus l'influence, une catégorie a fait mention d'aucune raison.

« Chez moi, il y a aucune raison qui me pousse à consommer les différentes substances toxiques » (E1, interview)

« Je ne sais absolument rien les raisons qui me poussent à consommer » (E20, interview)

« il y a aucune raison qui me pousse à utiliser les substances toxiques » (E25, interview)

Au-delà d'aucune raison, une catégorie a fait mention d'avoir le sang-froid.

« Moi, je consomme pour ne pas avoir froid » (E10, interview)

« Comme ça fait froid à l'extérieur, c'est pourquoi je consomme les différentes substances toxiques, pour avoir le sang-froid » (FGD1)

« Souvent, je le consomme, pour avoir le sang-froid » (E13, interview)

En plus d'avoir le sang-froid, une catégorie a fait mention de manque de moyens financiers.

« Ma famille manque de moyen financier, c'est pourquoi, je me retrouve en situation de la rue en train de consommer les différentes substances toxiques » (E16, interview)

« Chez nous, nous n'avons pas assez de moyens pour satisfaire aux différents besoins de la famille » (E18, interview)

« Nous sommes pauvres chez nous, ma famille manque de moyens financiers » (E20, interview)

En plus de manque de moyens financiers, une catégorie a fait mention de rejet par les membres de la famille.

« Je consomme le patex, parce que ma famille m'a rejeté suite à la mort de mes parents » (E17, interview)

« J'ai été chassé par ma tante paternelle, j'avais manqué où me réfugier, me voici retrouvé dans la rue » (FGD2)

« Je suis ici parce que j'ai été abandonné par ma mère biologique » (E27, interview)

Au-delà de rejet par les membres de la famille, une catégorie a fait mention de la maltraitance.

« Moi, j'ai été maltraité par ma marâtre, c'est pourquoi je me retrouve dans la rue en train de consommer les différentes substances » (E25, interview)

« Depuis que mon père était décédé, ma mère s'est remariée avec un autre homme, cet homme ne voulait pas de moi, c'est pourquoi, j'étais obligé de quitter la maison pour me retrouver en situation de la rue » (FGD1)

« Suite au décès de mes parents pendant la guerre, j'étais parti vivre chez ma tante paternelle, malheureusement, cette dernière s'occupait seulement de ces propres enfants, c'est pourquoi je me suis retrouvé en situation de la rue en train de consommer les différentes substances toxiques » (E4, interview)

3.3 PERCEPTION DES ENFANTS EN SITUATION DE LA RUE SUR LES RISQUES LIÉS À LA CONSOMMATION DES SUBSTANCES TOXIQUES

Concernant les différents risques de l'utilisation des substances toxiques qu'ils utilisent, on note entre autre les maladies chroniques.

« Parmi les différents risques, je connais seulement la maladie du poumon » (E7, interview)

« Moi, je sais que ça détruit le foie, mais je les consomme toujours » (FGD2)

« Moi, je sais que le risque qui court après mon utilisation de différentes substances est la maladie du cœur » (E16, interview)

En plus maladies chroniques, une catégorie a fait mention d'aucun risque.

« Je ne sais aucun risque suite à la consommation de différentes substances toxiques » (E6, interview)

« Mère, il y a aucun risque lorsqu'on consomme ces choses » (FGD2)

« Pour moi, je ne sais pas » (E9, interview)

En plus d'aucun risque, une catégorie a fait mention de problème mental

« Moi, suite à cette consommation, j'aurai à la longue un problème mental » (E28, interview)

« Moi, je sais que je consomme, suite à cela, j'aurai un problème » (FGD1)

« Après tout ce que je fais, j'aurai un traumatisme » (E16, interview)

En plus de problème mental, une catégorie a fait mention de la mort.

« D'après tout, la mort m'entend » (E2, interview)

« Mère, je sais que la mort est là » (FGD2)

« La consommation de ces substances peuvent nous tuer » (E3, interview)

4 DISCUSSION

4.1 PERCEPTION DES ENFANTS DE LA RUE SUR LES DIFFÉRENTS TYPES DE SUBSTANCES TOXIQUES CONSOMMÉES

En ce qui concerne les différents types de substances toxiques consommées, les enquêtées ont évoqué la colle de caoutchouc (patex).

A ce sujet l'Organisation Internationale du Travail (2010) note qu'en Asie, la consommation de colle de caoutchouc était répandue chez les enfants de la rue en Inde, au Népal et au Bangladesh. Les enfants utilisaient la colle pour ses effets euphorisants et pour soulager la faim et la fatigue.

De plus, l'Organisation mondiale de la santé (2008) montre qu'en Afrique, la consommation de colle de caoutchouc était répandue chez les enfants de la rue en Afrique de l'Ouest, en particulier au Ghana, en Côte d'Ivoire et au Togo.

Par ailleurs, Lutala et al. (2014) a révélé que la consommation de colle de caoutchouc est une pratique courante parmi les enfants des rues en RDC. Ces enfants consomment la colle de caoutchouc pour leurs effets psychoactifs, tels que l'euphorie et la désinhibition.

Ceci revient à dire que la colle de caoutchouc (patex) est parmi les différents types de substances toxiques consommées par les enfants en situation de la rue à Bunia.

A part la colle de caoutchouc, l'essence était citée comme une autre substance consommée par les enquêtées.

Rivera et al. (2019) ont montré que l'essence était souvent perçue comme une substance dangereuse et toxique, mais que sa consommation était influencée par des facteurs tels que le traumatisme, la pauvreté et l'isolement social. Les chercheurs ont souligné la nécessité la mise en place des services de soutien pour les enfants de la rue.

Par ailleurs, l'étude de Njenga et al. (2016) a montré que la perception de l'essence variait selon les contextes sociaux et culturels, mais que dans l'ensemble, l'essence était perçue comme une substance dangereuse et toxique. Les enfants de la rue consommaient de l'essence pour leurs effets psychoactifs, mais étaient conscients des risques pour leur santé.

En outre, Musafili et al. (2017) ont révélé qu'à Kinshasa, l'essence était l'une des substances les plus couramment consommées par les enfants de la rue, principalement à des fins récréatives. Les résultats ont montré que les enfants utilisaient l'essence pour ses effets psychoactifs et pour atténuer la faim et les douleurs physiques. L'étude a également révélé que la consommation d'essence présentait des risques graves pour la santé des enfants, notamment des problèmes pulmonaires, des troubles neurologiques et des brûlures internes.

Nous osons croire que la consommation de l'essence par les enfants en situation de la rue serait dû à plusieurs facteurs.

Il ressort de cette recherche que les enquêtés ont fait également mention de valium (diazepam) comme type de substances toxiques qu'ils utilisent.

Le résultat de notre étude corrobore à celui de Smith (2018) qui note que les enfants de la rue consomment fréquemment des benzodiazépines, dont le valium, pour atténuer les effets du stress et de l'anxiété liés à la vie dans la rue.

Par ailleurs, Wang et al. (2017) ont montré qu'en Asie, la consommation de valium et d'autres substances toxiques par les enfants de la rue est souvent liée à des traumatismes passés, à la violence et à la négligence. Cette étude a souligné l'importance de prendre en compte les traumatismes vécus par ces enfants dans la conception de programmes de soutien et de traitement.

Cependant, Garcia et al. (2019) ont montré qu'en Amérique, les enfants de la rue étaient exposés à un large éventail de substances toxiques, y compris le valium, en raison de l'absence de supervision et de protection. Cette étude a souligné la nécessité d'élaborer des politiques et des programmes spécifiques pour aider ces enfants à sortir de leur dépendance.

Ceci revient à dire que le valium (diazepam) est fréquemment consommé par les enfants en situation de la rue.

Il ressort de différents discours que les enquêtés de notre étude consomment aussi du chanvre.

A ce point, Gupta et al. (2017) ont relevé qu'en Asie, la consommation de chanvre est répandue parmi les enfants des rues dans certaines régions en raison de la pression sociale, du manque d'opportunités économiques et de la violence.

Cette situation est similaire en Afrique, dans l'étude Nkamigbo et al. (2016) qui note que les enfants des rues de certaines villes en Afrique consomment du chanvre indien comme une forme de soulagement du stress et de la pauvreté.

Par contre, Kambala et al. (2019) ont constaté que le chanvre était l'une des substances les plus couramment consommées par les jeunes en RDC. Les résultats de l'étude ont révélé que les jeunes percevaient souvent la consommation de chanvre comme étant moins dangereuse que celle d'autres drogues, ce qui contribuait à sa popularité. L'étude a également souligné que la disponibilité et l'accessibilité du chanvre jouaient un rôle important dans sa consommation chez les jeunes.

De ceci, nous pensons que le chanvre est également plus consommé par ces enfants en situation de la rue.

Il ressort de ces interventions que les enfants en situation de la rue se donnent aussi à la consommation de boissons fortement alcoolisées.

Müller et al. (2019) ont constaté qu'en Europe, la plupart des enfants étaient conscients des effets nocifs de l'alcool sur la santé, mais qu'ils consommaient tout de même de l'alcool en raison de la pression sociale et du manque d'alternatives. Les auteurs ont souligné la nécessité de mettre en place des politiques de réduction des méfaits et des programmes de sensibilisation pour aider ces enfants à réduire leur consommation d'alcool.

Par ailleurs, en Amérique, Garcia et al. (2017) ont constaté que la plupart des enfants de la rue étaient conscients des effets nocifs de l'alcool, mais qu'ils en consommaient tout de même en raison du traumatisme et du désespoir qu'ils ressentaient.

Mpanya et al. (2019) ont constaté qu'en RDC, les enfants de la rue considèrent l'alcool comme l'une des substances les plus couramment consommées et toxiques. Ils ont également noté que la consommation d'alcool était associée à un risque accru de violence et d'exploitation par d'autres personnes de la rue.

Au regard de ce qui précède, nous avons trouvé que les enfants en situation de la rue consomment plusieurs sortes de boissons fortement alcoolisées.

4.2 PERCEPTION DES ENFANTS EN SITUATION DE LA RUE SUR LES RAISONS DE LA CONSOMMATION DES SUBSTANCES TOXIQUES

Il ressort de différents discours que les enquêtés de notre étude consomment les différentes substances toxiques pour oublier les événements passés et à ne plus penser à leurs parents.

Par contre Simeunovic-Patic et al. (2019) stipulent que les enfants des rues consommaient des drogues et de l'alcool pour faire face à la solitude, à l'isolement et au rejet social qu'ils ressentent. Ils utilisent ces substances toxiques comme moyen d'évasion pour échapper à la réalité difficile de la rue.

Cependant, l'étude de O'Hare et Maleche (2017) a révélé que la plupart des enfants des rues consommaient des substances toxiques pour faire face aux traumatismes et aux stress psychologiques auxquels ils sont confrontés. Ces traumatismes peuvent provenir de la perte de leurs familles, de la violence de la rue, de l'exploitation sexuelle, entre autres.

Par contre, Mudinyayi et al. (2018) ont montré que la majorité des enfants de la rue en RDC ont été exposés à des traumatismes psychologiques, tels que la violence, la négligence ou l'abandon. Ces expériences traumatiques peuvent conduire à des troubles de l'attachement, de l'anxiété et de la dépression chez ces enfants, ce qui les pousse à rechercher des moyens de soulager leur douleur émotionnelle. La consommation de substances toxiques peut donc être perçue comme une échappatoire à ces difficultés psychologiques.

Ceci revient à dire que les enfants en situation de la rue consomment les différentes substances toxiques pour oublier les événements passés et à ne plus penser à leurs parents.

Par ailleurs, les enquêtés consomment aussi les substances toxiques à cause de l'influence de mes amis, le rejet par les membres de la famille, et la maltraitance.

Ceci est similaire aux résultats de Smith et al. (2018) qui stipule que des enfants en situation de rue estimaient que la consommation de substances toxiques était courante parmi leurs pairs. Ces enfants avaient une perception élevée de l'usage de drogues et d'alcool parmi leurs camarades.

De plus Kamau (2020) note que des enfants en situation de rue avaient une perception de consommation élevée de substances toxiques parmi leurs pairs. La disponibilité de drogues illicites et l'insuffisance des programmes de prévention contribuent à cette perception élevée.

Par contre, Jing Li et al., (2019) a conclu que la stigmatisation sociale et l'exclusion étaient des facteurs déterminants pour la consommation de substances toxiques par les enfants de la rue. La pression sociale, le manque de soutien familial et l'absence d'opportunités éducatives et professionnelles ont également été identifiés comme des raisons sociales critiques pour la consommation de drogues chez ces enfants.

Pour Mulumeoderwa et al. (2018), la majorité des enfants de la rue en RDC proviennent de milieux socialement défavorisés, sont exposés à la violence et à l'abandon familial, et sont souvent confrontés à des difficultés économiques. Ces facteurs sociaux ont été identifiés comme des déterminants majeurs de la consommation de substances toxiques chez ces enfants.

De ce constat, nous résumons que 'l'influence de mes amis, le rejet par les membres de la famille, et la maltraitance sont parmi les raisons sociales de la consommation des substances toxiques par les enfants en situation de la rue.

Il ressort de ces interventions que les enquêtées ont fait mention de manque de moyen financier comme raison économique.

Par exemple en Asie, une étude menée par Wang et al. (2017) ont montré que la pauvreté et le manque d'opportunités économiques étaient des facteurs déterminants dans la consommation de drogues chez les enfants de la rue en Asie. La perception des enfants de la rue sur la consommation de substances toxiques était souvent liée à la recherche de soulagement face à la misère économique.

En outre, en Afrique, une étude menée par Djebbar et al. (2016) ont souligné que la perception des enfants de la rue sur la consommation de substances toxiques est souvent liée à des raisons économiques, notamment en raison de la pauvreté et de l'absence de perspectives d'avenir. Les enfants de la rue sont souvent confrontés à des conditions de vie difficiles et à des difficultés économiques, ce qui les pousse à utiliser des substances toxiques pour faire face à la réalité quotidienne.

Par contre, Mavinga et al. (2017) ont souligné que les enfants de la rue en RDC sont souvent exposés à des conditions économiques précaires, ce qui les pousse à chercher des moyens de subsistance. La consommation de substances toxiques, tels que la colle, le cannabis ou le tabac, est souvent associée à la recherche d'un soulagement face à la pauvreté et à la violence subie dans la rue. Les auteurs soulignent que la consommation de ces substances permet aux enfants de supporter les difficultés auxquelles ils sont confrontés au quotidien.

4.3 PERCEPTION DES ENFANTS EN SITUATION DE LA RUE SUR LES RISQUES LIÉS À LA CONSOMMATION DE SUBSTANCES TOXIQUES

Les enquêtées de notre recherche ont rapporté la maladie du poumon, la maladie du foie et la maladie du cœur.

Comme le révèle l'étude de Fontaine (2020), les enfants en situation de rue dans des pays comme la France, l'Espagne et l'Italie sont souvent exposés à la toxicomanie, ce qui entraîne une augmentation des maladies du poumon. En France, des recherches effectuées par Leclerc (2021) montrent que les enfants qui inhalent des solvants présentent un risque accru de développer une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO). Par ailleurs, un rapport de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2019) souligne que l'usage de drogues injectables entraîne une prévalence élevée de maladies hépatiques en Espagne. Finalement, en Italie, selon Rossi et al. (2022), les enfants qui consomment des drogues stimulantes affichent des signes précurseurs de maladies cardiaques, qui peuvent se traduire par des complications graves à l'âge adulte.

En Afrique, des pays comme le Nigeria, l'Égypte et l'Afrique du Sud illustrent bien les risques sanitaires associés à la consommation de substances toxiques par les enfants en situation de rue. Selon une étude menée par Olumide et al. (2021) au Nigeria, les enfants exposés à l'usage de drogues telles que le « glue-sniffing » présentent un risque accru de maladies pulmonaires. En Égypte, Andersson et al. (2019) signalent que la consommation d'alcool et de drogues de synthèse contribue à l'augmentation des maladies hépatiques chez les enfants.

Partant de ce point, nous osons croire que les maladies du foie, du poumon et du cœur constituent des conséquences graves de cette exposition pour ces enfants.

En plus de ces éléments, la mort a été identifiée comme risque social de la consommation des substances toxiques des enfants en situation de la rue.

En Europe, la situation des enfants en situation de rue présente des similitudes mais aussi des différences notables. En France, en Roumanie et en Espagne, des études révèlent également une forte prévalence de consommation de substances. Par exemple, selon la Croix-Rouge (2018), en France, les enfants vivant dans la rue sont souvent marginalisés et exposés à des substances comme le cannabis et l'alcool, des produits qui peuvent être facilement accessibles. En Roumanie, une étude menée par Radu et al. (2020) met en avant les dangers de l'utilisation de médicaments non réglementés par ces enfants, ce qui entraîne des problèmes de santé graves, voire mortels. En Espagne, une recherche de Pérez et al. (2021) souligne que les politiques publiques sont souvent insuffisantes pour protéger ces enfants, conduisant à des taux de mortalité accrus liés à la consommation de substances.

En Asie, la situation est tout aussi préoccupante, avec des pays comme l'Inde, les Philippines et la Thaïlande qui font face à ce fléau. En Inde, Kumar et al. (2019) notent que la consommation de substances toxiques par les enfants dans la rue est alimentée par la pauvreté et le manque d'accès à l'éducation, rendant ces enfants facilement manipulables par des groupes criminels. Aux Philippines, un rapport de ChildHope (2020) attire l'attention sur le phénomène croissant de jeunes utilisant des substances comme le rugby, une colle toxique qui entraîne des effets dévastateurs sur leur santé. Enfin, en Thaïlande, la recherche de Wong et al. (2021) met en avant l'impact de l'usage de drogues de synthèse, qui a considérablement augmenté chez les jeunes en situation de rue, augmentant les risques de mortalité précoce.

Ceci nous amène à dire que les enfants vivant dans la rue sont exposés à plusieurs risques dont la mort.

5 LIMITE DE TRAVAIL

Tout d'abord, nous avons appliqué la triangulation des techniques en utilisant à la fois des entretiens et un focus groupe, ce qui est d'ailleurs recommandé dans la recherche qualitative. De plus, nous aurions dû mettre en œuvre une triangulation des participants, en incluant à la fois des participants masculins et des participantes féminines. Cependant, en raison du faible nombre de filles, en particulier dans le focus groupe, cela n'a pas été réalisable. Cette situation pourrait constituer une limite à notre étude.

6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a porté sur perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia. L'objectif assigné pour ce travail est explorer la perception des enfants en situation de la rue relative à la consommation des substances toxiques en ville de Bunia.

Après l'analyse, nous avons abouti aux résultats suivants:

- Les enfants en situation de la rue ont fait mention aux différents types de substances toxiques qu'ils utilisent comme patex et l'alcool, l'essence, le chanvre, le valium (diazepam), et la cigarette;
- Les enfants en situation de la rue ont fait mention aux différentes raisons de la consommation de substances qu'ils utilisent notamment pour oublier les événements passés et à ne plus penser à leurs parents;
- Les enfants en situation de la rue ont fait mention aux différents risques de la consommation de substances qu'ils utilisent comme la maladie du poumon, la maladie du foie, la maladie du cœur et la mort.

Au vu de ces résultats, nous recommandons ce qui suit :

- Autorités politico-administratives

Envisager des mesures contraignantes interdisant à ces enfants de consommer; puisque c'est quand même dangereux sur leur santé.

- Pour les ONG intervenant dans l'encadrement et protection de ces enfants

Les organisations non gouvernementales ainsi que les organisations intervenant dans le domaine de santé doivent continuer à sensibiliser ces jeunes enfants sur les risques de consommation des substances toxiques surtout à leur âge.

Des recherches similaires doivent être abordées dans cette même thématique en vue d'approfondir des aspects non repérés comme: *Défis des interventions pour la lutte contre la consommation de substances toxiques par les enfants en situation de la rue en ville de Bunia.*

REFERENCES

- [1] Bourgois, P., Holmes, S. M., Sue, K., & Quesada, J. (2017). Les enfants en situation de rue et l'utilisation de drogues en Colombie: Résultats d'une ethnographie sur la violence et la résilience. *Revue internationale de politique sur les drogues*, 45, 26-35.
- [2] Chang, J., Zhang, Y., & Wang, Y. (2020). Consommation d'alcool chez les enfants des rues en Asie: Une revue de littérature. *Journal de la toxicomanie de l'enfant et de l'adolescent*, 29 (5), 517-531.
- [3] Chang, S., et al. (2016). Perceptions de la cocaïne parmi les enfants des rues en Asie: Une étude qualitative. *Revue internationale de politique en matière de drogues*, 33, 48-54.
- [4] Chen, J., Wong, T., & Wong, A. (2017). Usage de substances chez les enfants des rues et les adolescents en Asie: Revue de l'épidémiologie et implications pour les politiques et pratiques futures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (7), 710.
- [5] Chen, J., Wong, T., & Wong, A. (2017). Usage de substances chez les enfants des rues et les adolescents en Asie: Revue de l'épidémiologie et implications pour les politiques et pratiques futures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (7), 710.
- [6] Dern, S., Mishra, A., Ved, R., & Mishra, R. K. (2014). Étude sur les schémas, les conséquences et les facteurs associés à la toxicomanie chez les enfants en conflit avec la loi en Inde. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 36 (4), 386-391. <https://doi.org/10.4103/0253-7176.140275>.
- [7] Djebbar, M. K., Khiali, S., Tiadjine, Z., & Mohammedi, A. (2016). La perception des enfants de la rue sur la consommation de substances toxiques en Algérie. *Revue éthique et économique / Ethics and Economics Review*, 13 (2), 44-59.
- [8] Fischer, A., et al. (2017). Troubles liés à la consommation de substances chez les enfants et les adolescents maltraités: une revue systématique. *Psychiatrie européenne de l'enfant et de l'adolescent*, 26 (9), 1055-1063.
- [9] Garcia, A., et al. (2017). Les enfants de la rue et la consommation d'alcool: une étude en Amérique. *Journal des problèmes sociaux*, 42 (3), 321-335.
- [10] Garcia, A., Smith, J., Johnson, R., & Martinez, E. (2019). Les enfants vivant dans la rue en Amérique: Expositions aux substances toxiques et la nécessité de politiques et de programmes spécifiques. *Journal des études de la jeunesse*, 22 (5), 640-654.
- [11] García, R., et al. (2019). Perception de l'utilisation de substances toxiques chez les enfants des rues en Amérique: une perspective socio-économique. *Journal de la pauvreté des enfants*, 25 (2), 188-205.
- [12] Garcia, R., Sánchez, A. I., & García, J. A. (2020). Perception de la santé et consommation de substances chez les enfants des rues et les adolescents en Amérique latine: Une revue systématique. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (3), 1051.
- [13] Gonzales, P., Gutierrez, M., & Rodriguez, J. (2019). Les enfants des rues en Amérique: défis et risques liés à la consommation de drogues. *Revue internationale de psychologie sociale*, 32 (3), 459-476.
- [14] Gupta, R., Rajesh, T., & Singh, S. (2017). Consommation de chanvre chez les enfants des rues en Asie: une analyse du problème social. *International Journal of Social Sciences and Management*, 4 (2), 85-92.
- [15] Guyot, P. (2015). La perception de l'enfant: influences culturelles, éducation, expériences personnelles et interactions sociales. *Revue de psychologie de l'enfant*, 1 (2), 123-136.
- [16] Hill, R., Bremner, L., Janssen, X., & Hinchliffe, G. (2015). Abus de substances chez les enfants et les jeunes, Collège Royal de Pédiatrie et de Santé Infantile.
- [17] Huang, L., Cheng, Y., & Feng, T. (2012). La toxicomanie chez les enfants des rues en Chine: une revue systématique et une méta-analyse. *Child: Care, Health and Development*, 38 (6), 743-749.
- [18] Kabeya, J., Ndileka, N., & Mukendi, D. (2019). Perceptions des enfants de la rue envers la cocaïne en République démocratique du Congo. *Journal de recherche sur les drogues illicites*, 25 (2), 123-136.
- [19] Kabwe, N. C., Nganza, K. F., Kankolongo, M. B., & Mbongo, P. (2019). Déterminants de la consommation de substances toxiques chez les enfants des rues à Kinshasa. *Revue Congolaise de Santé Publique*, 1 (1), 52-58.
- [20] Kalambayi, F., Mayala, M., Yuma, S., Malonga, K., & Ngongo, N. (2015). Les enfants en situation de rue et la toxicomanie à Kinshasa en République Démocratique du Congo: état des lieux et perspectives. *Global Journal of Health Science*, 7 (3), 308-317.
- [21] Kalibala, S., Ssewamala, F. M. & Ssesanga, D. (2006). Le rôle des organisations de jeunes des rues dans la réponse à la situation des enfants des rues en Ouganda. *Revue des services pour l'enfance et la jeunesse*. 28 (9). 1064-1077.

- [22] Kamau, A. (2020). Perceptions de la toxicomanie chez les enfants des rues en Afrique. *International Journal of Child Health and Human Development*, 13 (2), 121-134.
- [23] Kambala, E., Bongo, R. N., Mukoma, W., Mutombo, P. B., & Lukiana, P. D. (2019). La consommation de drogues chez les jeunes en RDC: une étude sur la perception et les déterminants. *Revue Congolaise des Sciences Sociales*, 6 (2), 81-100.
- [24] Kumar, A., Kumar, S., Adhikari, T., & Khanal, P. (2016). Comportements liés à la consommation de substances chez les enfants des rues dans les régions touchées par un conflit armé. *Substance abuse: Research and treatment*, 10, 41-47.
- [25] Li, C., Wong, S., & Leung, P. (2017). Perceptions des drogues de rue chez les enfants asiatiques. *Revue internationale de l'éducation sur les drogues*, 45 (2), 156-169.
- [26] Li, J., et al. (2019). Social stigma, social exclusion and substance abuse among street-involved children in Asia: A systematic review. *Children and Youth Services Review*, 103, 137-146.
- [27] Lopez, A., et al. (2018). Perceptions des risques économiques associés à la consommation de substances chez les jeunes en situation de rue en Amérique. *Revue internationale de politique en matière de drogues*, 59, 35-40.
- [28] Lutala, P. M., Sekele, M. T., & Mampunza, S. M. (2014). Pratique de la consommation de colle de caoutchouc chez les enfants des rues à Kinshasa. *Revue Médicale de l'Est*, 34 (2), 42-45.
- [29] Mampunza, J. P., Muyisa, S. K., & Mampunza, B. (2017). La consommation des drogues chez les enfants de la rue à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 116, 11566-11572.
- [30] Mavinga, J., et al. (2017). Caractérisation des conditions de vie, du profil sociodémographique et des risques en matière de santé des enfants et jeunes vivant ou travaillant dans la rue à Lubumbashi, République Démocratique du Congo. Kinshasa: Panzi Foundation.
- [31] Mpanya, L., Nkulu, J. M., Musobelwa, M., & Atibu, J. (2019). La consommation d'alcool chez les enfants de la rue en République démocratique du Congo: évaluation des risques et impacts. *Journal de la santé de l'environnement*, 12 (2), 102-111.
- [32] Mudingayi, V., Bisimwa, G., Kashala-Abotnes, E., & Mukendi, M. (2018). Étude exploratoire des enfants de la rue aventureux à Kinshasa et leurs motivations. *Revue internationale en sciences sociales*, 14 (1), 67-82.
- [33] Mukalay, A., Kidiya, G., & Nachega, J. B. (2017). L'utilisation des substances toxiques par les enfants de la rue en République démocratique du Congo: implications pour la santé publique et les politiques sociales. *Revue de psychiatrie et de santé mentale des enfants et des adolescents*, 60 (4), 320-326.
- [34] Müller, A., et al. (2019). Les Pressions Sociales et le Manque d'Alternatives: Facteurs Influençant la Consommation d'Alcool chez les Enfants en Europe. *Journal of Health Psychology*, 17 (2), 123-135.
- [35] Musafili, A., et al. (2017). Pratiques de consommation de substances toxiques par les enfants de la rue à Kinshasa. *Journal de la santé publique en Afrique*, 8 (2), 633-640.
- [36] Ngoma, M. C., Mampunza, S. M., & Kayembe, P. K. (2019). Perception des enfants des rues à Kinshasa sur les risques liés à la santé et aux drogues. *Journal de Santé Publique en Afrique*, 10 (1), 822.
- [37] Nkamigbo, S. C., Ee, U.E., & Bello, K. (2016). Usage du cannabis chez les enfants des rues en Afrique: une étude dans certaines villes. *Journal de l'abus de substances chez l'enfant et l'adolescent*, 25 (4), 347-360.
- [38] O'Hare, B. A., & Maleche, A. (2017). Les enfants en situation de rue et l'utilisation de substances: une revue de la littérature. *Journal de l'utilisation de substances*, 22 (6), 599-607.
- [39] OMS (2017). Consommation de substances toxiques par les enfants de la rue. Récupéré de <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/street-children>.
- [40] OMS (Organisation mondiale de la santé). (2010). Classification des substances toxiques. Consulté à l'adresse https://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_pharmsoister117.pdf
- [41] Organisation internationale du travail. (2010). Rapport sur le travail des enfants 2010: Vers la fin de la traite des enfants et du travail des enfants dans l'aberrance. Genève: Bureau international du Travail.
- [42] Organisation mondiale de la santé (OMS). (2008). L'utilisation de colle de caoutchouc chez les enfants de la rue en Afrique: une activité répandue et potentiellement dangereuse. Consulté à l'adresse: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43807/9789242563603_fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [43] Rivera, A. et al. (2019). La perception de l'essence parmi les enfants des rues: une étude dans les zones urbaines marginalisées en Amérique. *Journal de la recherche sociale*, vol. 36, no. 2, pp. 132-147.
- [44] Sanchez, J., Smith, L., Martinez, R., & Johnson, M. (2018). Impact de la vie dans la rue sur la perception des drogues chez les enfants sans-abri en Amérique. *Revue des Sciences Sociales*, 42 (3), 123-135.
- [45] Schuler, M., Nuño, L., & Chávez, P. (2017). La situation socio-économique des enfants et des jeunes vivant dans les rues de Mexico: la voix des enfants et des jeunes. *Children and Youth Services Review*, 82, 281-288.
- [46] Smith, J., et al. (2017). Les enfants des rues et les risques sanitaires associés à l'usage de drogues: une étude en Europe. *Revue Européenne de Santé Publique*, 27 (Suppl_2), 217-218. Smith, J., et al. (2018). Perception des risques associés à la consommation de cocaïne chez les enfants des rues en Europe. *Journal of Drug Education*, 42 (3), 231-248.

- [47] Smith, J., Johnson, A., & Brown, C. (2018). La consommation d'alcool chez les enfants de la rue en Afrique: une étude sur les perceptions et les comportements. *Revue de recherche sur la santé mentale*, 25 (2), 45-62.
- [48] Smith, J., Johnson, A., Brown, K., & Williams, L. (2018). Usage de substances chez les enfants de la rue en Europe: une revue. *Revue des études sur la jeunesse*, 21 (3), 345-362.
- [49] Smith, J., Johnson, S., & Williams, A. (2018). La consommation de substances toxiques chez les enfants en situation de rue en Europe. *Journal de recherche sur les enfants en situation de rue*, 12 (2), 45-58.
- [50] Tshibangu, T., Mpiana, P. T., Mwinkeu, K. M., Lukonga, P. T., Muabanza, N. J., & Kayembe, J. M. N. (2019). La consommation de colle de caoutchouc chez les enfants de la rue à Lubumbashi, République démocratique du Congo : étude de prévalence, facteurs associés et conséquences sanitaires. *Revue Congolaise de Santé Publique*, 2 (1), 23-35.
- [51] Wang, J., Li, X., Chen, T., Li, H., & Zhao, Y. (2017). Traumatisme et santé mentale chez les enfants en situation de rue en Asie: une revue. *Revue internationale de recherche environnementale et de santé publique*, 14 (8), 867. doi: 10.3390/ijerph14080867.
- [52] Wang, Y., Li, X., & Fang, X. (2017). Facteurs économiques influençant la consommation de substances chez les enfants des rues en Chine: une étude qualitative. *Utilisation et mésusage des substances*, 52 (3), 325-333.
- [53] Wong, S. T., Yau, M. K., & Wong, J. K. (2018). Perceptions des enfants des rues concernant leur santé et leur utilisation de substances toxiques: une étude en Asie. *International Journal of Child and Adolescent Health*, 11 (4), 357-372.
- [54] World Health Organization (WHO). (2012). Rapport mondial sur la violence et la santé. Récupéré sur https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/77432/WHO_NMH_VIP_12_01_fre.

Estimation de la biomasse et du potentiel de séquestration du carbone par le massif forestier de Mambala à Kikwit en République Démocratique du Congo

[Estimation of biomass and carbon sequestration potential by the Mambala forest massif in Kikwit in the Democratic Republic of Congo]

Jean Louis Ipumi Ngangwan¹, Gaspaulin Kingendzi Mumbenga Daa², Solange Biongo Nyami³, Philippe Kilundu⁴, Berenice Kwazitela Mwanza⁵, and Saturnin Kudiakusika Mapekipeki⁶

¹Institut Supérieur d'Agroforesterie et de Gestion de l'Environnement (ISAGE) Aten, RD Congo

²Institut Supérieur des Techniques Médicales (ISTM) Kikwit, RD Congo

³Institut Supérieur de Développement Rural (ISDR) Mbeo, RD Congo

⁴Institut National d'Etudes et des Recherches Agronomiques (INERA) Kiyaka, RD Congo

⁵Institut Supérieur des Techniques Médicales (ISTM) Feshi, RD Congo

⁶Université de Kikwit (UNIKIK), RD Congo

Copyright © 2025 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 emission of greenhouse gases can be reduced either by reducing the rate at which they are emitted into the atmosphere or by increasing the rate at which gases are removed from the atmosphere through carbon sinks. In this context, the evaluation of biomass and carbon sequestration potential by the Mambala forest massif to the east of Kikwit was studied. The general objective is to estimate the contribution level of the forest massif to the regulation of the climate system through a diagnosis of the quantities of sequestered carbon. The floristic inventory was carried out on an area of 1 ha delimited in the Mambala forest, made up of 5 strips of 100 m x 20 m within which, the dbh ≥ 10 cm of the trees were measured. The non-destructive method was employed and allometric equations developed by authors were used for this purpose. 439 trees with a diameter at breast height greater than or equal to 10 cm were inventoried, identified into 56 species, divided into 28 families, the most represented of which is that of Fabaceae. The carbon contained in the biomass is 616.93t/ha. The quantity of sequestered carbon and the carbon equivalent obtained were respectively 317.05 and 984.58t/ha; the basal area was 52.07m²/ha. Based on these results, we can affirm that this ecosystem is a real natural carbon sink which must be well managed, because it can contribute to the mitigation of greenhouse gases if it is well managed.

KEYWORDS: Biomass, global warming, well, forest massif, Mambala, Kikwit, Democratic Republic of Congo.

RESUME: L'émission de gaz à effet de serre peut être réduite soit en diminuant le taux auquel ils sont émis vers l'atmosphère soit en augmentant le taux auquel les gaz sont retirés de l'atmosphère au travers les puits carbonés. Dans ce contexte, l'évaluation de la biomasse et du potentiel de séquestration de carbone par le massif forestier de Mambala à l'Est de Kikwit a été étudié. L'objectif général est d'estimer le niveau contributif du massif forestier à la régulation du système climatique à travers un diagnostic des quantités de carbone séquestré. L'inventaire floristique s'est réalisée sur une surface de 1 ha délimitée dans la forêt de Mambala, constitué de 5 bandes de 100 m x 20 m au sein desquelles, le dbh ≥ 10 cm des arbres ont été mesuré. La méthode non destructive a été employée et des équations allométriques développées par des auteurs ont été utilisées à

cet effet. 439 arbres à diamètre à hauteur de poitrine supérieur ou égal à 10 cm ont été inventoriés, identifier en 56 espèces, réparties 28 familles dont la plus représentée est celle des Fabaceae. Le carbone contenu dans la biomasse est de 616,93t/ha. La quantité de carbone séquestré et l'équivalent carbone obtenus ont été respectivement de 317,05 et 984,58t/ha; la surface terrière a été de 52,07m²/ha. Partant de ces résultats, nous pouvons affirmer que cet écosystème est un véritable puits naturel de carbone dont il faut bien gérer, car il peut contribuer à l'atténuation de gaz à effet de serre s'il est bien géré.

MOTS-CLEFS: Biomasse, réchauffement climatique, puit, massif forestier, Mambala, Kikwit.

1 INTRODUCTION

Les écosystèmes forestiers jouent un rôle très important par rapport au changement climatique, en absorbant le dioxyde de carbone, un des principaux gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique [1]. La quantité de carbone piégée dans les écosystèmes terrestres est environ 3 fois plus élevée que celle atmosphérique. Ce carbone du sol est 700 fois plus important que l'augmentation annuelle en CO₂ [2]. Les écosystèmes forestiers, en particulier dans le tropique, influencent le climat mondial en tant que contributeurs majeurs aux puits de carbone terrestre mondial, et absorbent environ 30% de l'ensemble des émissions de CO₂ chaque année [3].

La planète terre subit actuellement des modifications très large. Les activités anthropiques ont d'impacts sur l'accumulation des gaz présents naturellement dans l'atmosphère notamment ceux dits à effet de serre. Les gaz à effet de serre (GES) sont les causes principales du réchauffement climatique que nous assistons actuellement sur la planète [4].

La dégradation du couvert végétal, par le truchement des activités humaines ou naturels, entraîne la libération de carbone dans l'atmosphère à des quantités supérieures à celles utilisées par la végétation lors de la photosynthèse [5]. Et pourtant, si les écosystèmes forestiers sont gérés rationnellement, ils constituent des puits carbonés. Il est donc très important de mettre en application les stratégies qui rendent la forêt, un lieu de stockage de carbone plutôt qu'une source de production de carbone [6].

Actuellement, le taux de reboisement annuel de la République Démocratique du Congo est relativement faible. On estime qu'environ 0,2% de la forêt a été perdue entre l'an 2000 et 2010 [7]. Les raisons d'un taux aussi faible sont à trouver dans l'effondrement de l'industrie du bois d'œuvre en R.D. Congo durant la guerre civile [8]; et dans l'infrastructure mal développée et endommagée par la guerre.

L'accroissement de concentration de GES dans l'atmosphère est maintenant reconnu comme principale cause des changements climatique qui, selon plusieurs études, se traduisant par une augmentation de la température terrestre et de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes, ainsi que par élévation du niveau des océans. Afin de diminuer les coûts des engagements des pays industrialisés, le protocole de Kyoto s'est doté d'un mécanisme de flexibilité, appelé le mécanisme pour un développement propre (MDP), permettant d'instaurer un marché mondial du carbone. Cette réalité entraîne est un intérêt grandissant pour les projets de séquestration du carbone basé sur des espèces ligneuses qui emmagasine dans leur biomasse, via la photosynthèse, une quantité considérable de cet élément [9].

La ville de Kikwit et ses hinterlands disposent quelques massifs forestiers notamment: Ilot forestier de procure de Kikwit, Ilot forestier des Sœurs Trappistes de Kikotshi, la forêt de Bumba-Putu, massif forestier de Kamenga, la forêt de Mbalading à Kimbinga, le massif forestier de Mambala, etc.

Ces massifs forestiers ont soit disparues, soit sont très dégradés. Le massif forestier de Mambala est lui aussi, très perturbé du fait de la forte pression anthropique et la masse de carbone séquestré n'a pas encore été fait. Les résultats attendus permettront d'estimer la biomasse et la quantité de carbone séquestrée dans leur structure ligneuse.

La perspective de protection de la biodiversité et l'accroissement du potentiel de séquestration de carbone des ressources forestières sont au centre des préoccupations du propriétaire de ce massif forestier. Jusqu'à présent, peu d'études ont abordé la thématique de la diversité floristique d'une part, la biomasse et les quantités de carbone du site d'autre part. Aussi, ce massif fait-il l'objet de coupe abusive du bois et d'exploitation agricole qui contribuent au déstockage du carbone. Sa bonne gestion nécessite la connaissance de son état scientifique et des services qu'il procure. D'où, la nécessité de cette étude pour contribuer à l'approvisionnement des quantités de carbone séquestré et ainsi mettre en relief le rôle et l'importance environnemental dudit massif.

L'objectif général de l'étude est d'estimer le niveau contributif du massif forestier de Mambala à la régulation du système climatique à travers un diagnostic des quantités de carbone séquestré.

Pour atteindre cet objectif général, nous nous sommes assignés les spécifiques ci-après:

- Etudier de la diversité floristique du massif de Mambala;
- Calculer la surface terrière de chaque espèce;
- Calculer la biomasse aérienne et trouver l'équivalent carbone;
- Estimer la quantité de carbone séquestré par ce massif forestier.

La question principale de cette étude est la suivante: le massif forestier de Mambala contribue-t-il de manière efficiente à la séquestration de carbone ?

Au vu de ce questionnaire, nous émettons l'hypothèse à savoir que le massif forestier Mambala pourrait séquestrer une grande quantité de carbone par la biomasse aérienne.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

La présente étude a été réalisée, au village Nsinga dessin, dans la forêt de Mambala, groupement Nkata busongo, située à 35 Km à l'Est de la ville de Kikwit, dans le secteur Imbongo, territoire de Bulungu, province du Kwilu. Sa superficie est de 50 hectares. Elle est comprise entre 18°58' de longitude Est, et entre 05°08' de latitude sud, une altitude de 410 à 458m. Elle est limitée à l'est par le village Nkata busongo, à l'ouest par le village Kwanga Nganzi, au Nord par les ruisseaux Misomoni et Osomoni, au sud par la rivière Kwilu.

Le climat de Mambala et ses environs est du type tropical humide à tendance équatoriale, il s'agit d'un climat du type AW₃ de la classification de Köppen, caractérisé par deux saisons, à savoir la saison sèche de trois mois et la saison pluvieuse de neuf mois qui commence le 15 Août d'une année et se termine vers le 15 mai de l'autre année [10].

Le matériel parental des sols est représenté en majorité par le recouvrement sableux d'origine éolienne et d'âges divers des plateaux et de replats de vallées [11]. Les sables éoliens sont fins rouge jaunâtres. Ils occupent les hauts plateaux du Kwango [12].

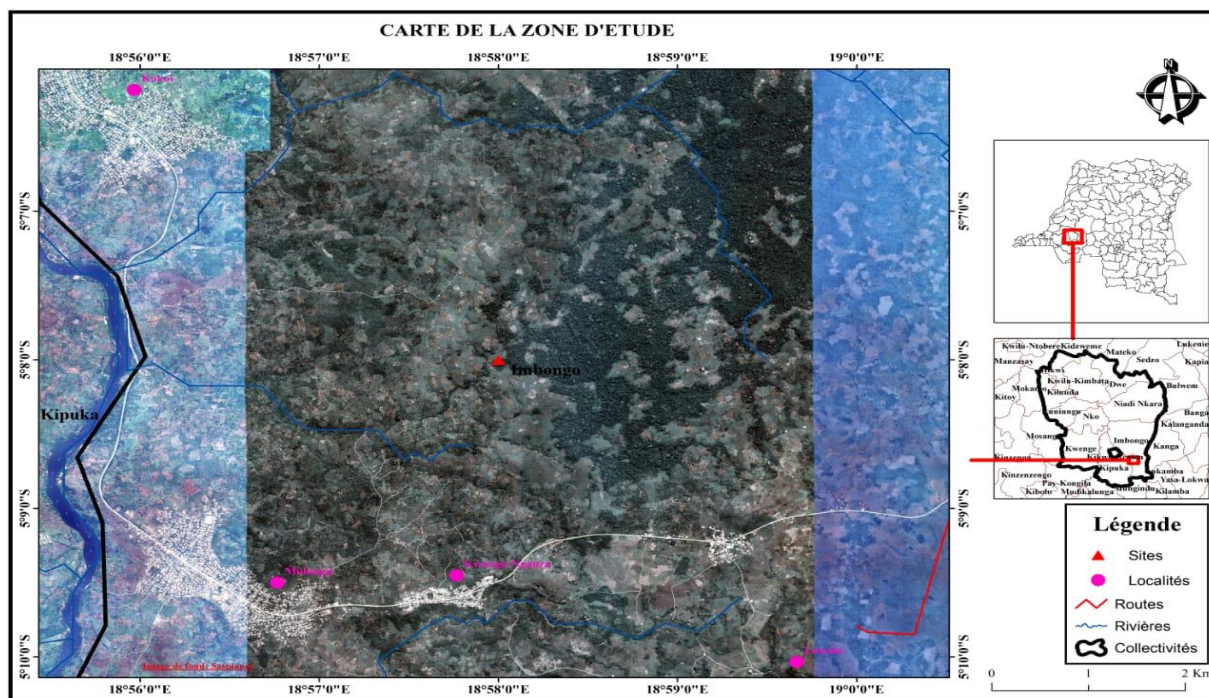


Fig. 1. Carte de la zone cartographique d'étude

2.2 MATÉRIELS

Pour mener cette étude, les matériels utilisés sont: récepteur GPS de marque GARMIN 64 qui a servi au prélèvement des coordonnées géographiques, ruban numérique, craie, fil en nylon, papiers journaux, machette, appareil de photo marque Canon et les espèces végétales récoltées dans la forêt précitée.

2.3 MÉTHODES

Dispositif expérimentale

Un dispositif d'inventaire d'un hectare a été délimité par un système de layonnage dans la forêt de Mambala. Au total, cinq bandes de 20 m de large sur 100 m de long séparées de 5 m ont permis l'inventaire de tous les arbres à dbh mesurés à 1,30m du sol ≥ 10 cm. La figure 2 indique le dispositif de la surface total ayant servie à l'inventaire floristique.

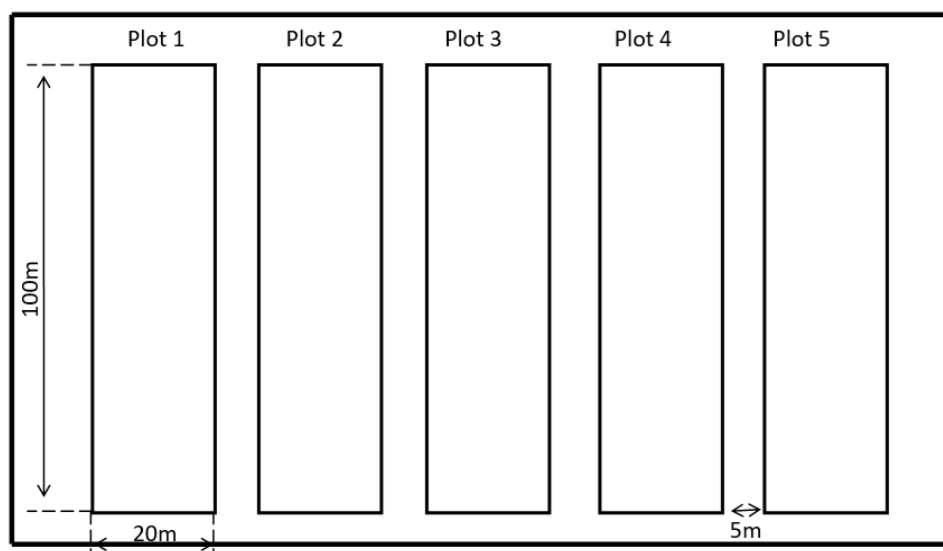


Fig. 2. Dispositif mis en place pour les inventaires floristiques

Inventaire floristique et identification spécimens

L'inventaire floristique s'est réalisée sur une surface de 1 ha, constituée de 5 bandes de 100 m x 20 m au sein desquelles, le dbh ≥ 10 cm des arbres ont été mesuré.

L'identification des spécimens récoltés se faisait directement sur terrain à l'aide des travaux de Vivier et Faure [13] et ensuite par comparaison avec les spécimens d'herbier conservés à l'Herbarium du Département de Biologie/Faculté des sciences de l'université de Kinshasa.

Estimation du stockage de carbone

Le calcul du stock de carbone emmagasiné dans le tissu ligneux des arbres est obtenu pour l'ensemble des arbres en multipliant la biomasse aérienne par K. D'où, K est égale à $0,47 \approx 0,5$ pour les forêts tropicales recommandées par le GIEC [14].

Le prélèvement de la circonférence des arbres à hauteur de poitrine estimée à 1,30 m au-dessus du sol (dbh) et/ou à 30 cm au-dessus de contrefort été fait afin de permettre le calcul estimatif du volume, de la surface terrière et de la biomasse aérienne du bois des arbres individuels et des forêts.

La surface terrière (ST) total est la somme de toutes les surfaces terrière de tous les arbres inventorié dans l'ensemble de cinq bandes:

$$ST(G) = \pi d^2 / 4$$

Où:

ST =Surface terrière; d = diamètre; π = pi (3,14)

Les calculs de la phytomasse aérienne des arbres ont été fait en application des équations allométriques (modèle) établies par Chave [15], [16].

$$AGB = \exp. [0,37 + 0,333 * \ln(dbh) + 0,933 \ln(dbh)^2 - 0,122 * \ln(dbh)]$$

Ce test a été utilisé pour vérifier les relations entre certains paramètres étudiés (diamètres et la biomasse aérienne, diamètre et la quantité de carbone emmagasinée). Il existe une corrélation entre les paramètres si $T =$ (coefficient de Pearson) $\geq 0,75$ et dans le cas contraire l'hypothèse doit être rejetée.

Spectres écologiques

Le type biologique d'une espèce est l'ensemble des dispositifs anatomiques et morphologiques qui caractérise son appareil végétatif et singularise son habitat et sa physiologie [17].

Les différents types biologiques sont définis d'après la classification de Raunkiaer [18], adopté aux régions tropicales par des nombreux auteurs notamment [19], [20]. Il s'agit des types suivant:

- ✓ **Phanerophyte (Ph):** plante ayant un appareil caulinaire partant à plus de 50cm du sol des bourgeons persistants visibles dont: On distingue parmi eux: les **Phanerophyte ligneux érigés:** megaphanerophytes (MgPh), mesophanerophytes (MsPh), microphanerophytes (McPh), nanophanerophytes (NnPh); les **phanerophytes grimpants (Phgr):** Volubiles et/ou étayé (Phgrv), A racines crampons (Phgrc), Herbes (Phgrh) et les **Phanerophyte épiphytes (Pnép)**
- ✓ **Le type de dissémination des diaspores** des différentes espèces ont été déterminés selon la classification de Dansereau [21]. Il s'agit de: Ballochores (Bal), Barochores (Bar), Desmochore (Des), Pleochores (ple), Pogonochores (Pog), Ptérochores (Pte), Sclerochores (Scl), Sarochores (Sar),

Dans le site d'étude, quatre types de diaspores ont été observés: les ballochores, les ptérochores, les barochores et pogonochores.

- ✓ **Types de dimension foliaire (TF),** la classification, déjà utilisée nous a permis de classer les différents types de dimensions foliaires: Aphylls (Ap), Leptophylles (Lé), Nanophylles (Na), Microphylles (Mi), Mesophylles (Mé), Macrophylles (Ma), Mégaphylles.

Les types de dimensions foliaires des espèces de la forêt Mambala appartiennent aux types Mesophylles, Macrophylles et microphylles.

Suivant la distribution phytogéographique, trois types ont été retenus dans le présent travail. Il s'agit notamment de: **Espèces Guinéo-Congolaise:** Types Centro-guinéens (CG) et Types Guinéo-congolais (GC); **Types à large répartition géographique:** Types Afro-tropical (At).

Sur le plan sociologique, la classification de groupement étudié repose sur les alliances regroupées au sein des unités systématiques supérieures que sont les ordres et les classes. Les classes ou les groupes éco sociologiques retenus dans notre travail sont les: *Musango-Terminaliatea* (MT), *Strombosio-Parinarietea* (SP), *Halletea stipilosae* (M).

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION FLORISTIQUE

L'étude floristique menée dans le massif forestier de Mambala a permis le recensement de 439 arbres de diamètres supérieur ou égal à 10 cm, regrouper en 56 espèces dans l'ensemble. Ces différentes essences ont été rangées dans 7 clades, 12 ordres et 28 familles. Toutes ces espèces appartiennent au clade des Angiospermes. Les *Fabaceae* constituent, la famille la plus fournie en espèces. Cette famille compte en effet 11 essences différentes, soit 19,64% de l'ensemble. Suivi de *Myristicaceae* avec 4 espèces, soit 7,14%. Quatre familles rassemblent 3 espèces chacune, soit 5,35%. Il s'agit notamment de: *Moraceae*, *Sapotaceae*, *Chrysobalanaceae* et *Olacaceae*. Les autres familles sont mono spécifiques. Tous ces résultats sont consignés dans la figure 3.



Fig. 3. Famille des espèces inventoriées

3.2 SURFACE TERRIÈRE

La surface terrière de la zone d'étude donne des valeurs plus élevées à 7 espèces. Il s'agit notamment de *Scorodophoeus zenkeri*, *Staudtia kamerunensis*, *Anonidium mannii*, *Entandrophragma utile*, *Pentaclethra macrophylla*, *Poga oleosa* et *Pterocarpus mildbraedii*, lesquelles ont respectivement: 10,35; 5,49; 4,36; 3,78; 3,33; 3,01 et 2,25m²/ha. Les valeurs de la surface terrière les plus faibles ont été obtenues chez 3 essences: *Maranthes glabra* avec 0,03m²/ha, *Manilkara* sp avec 0,06m²/ha et *Pachyelasma tessmannii* avec 0,11m²/ha et les autres espèces prises ensemble présentent une surface terrière de 19,3m²/ha. La surface terrière des espèces sont présentées dans la figure 4.

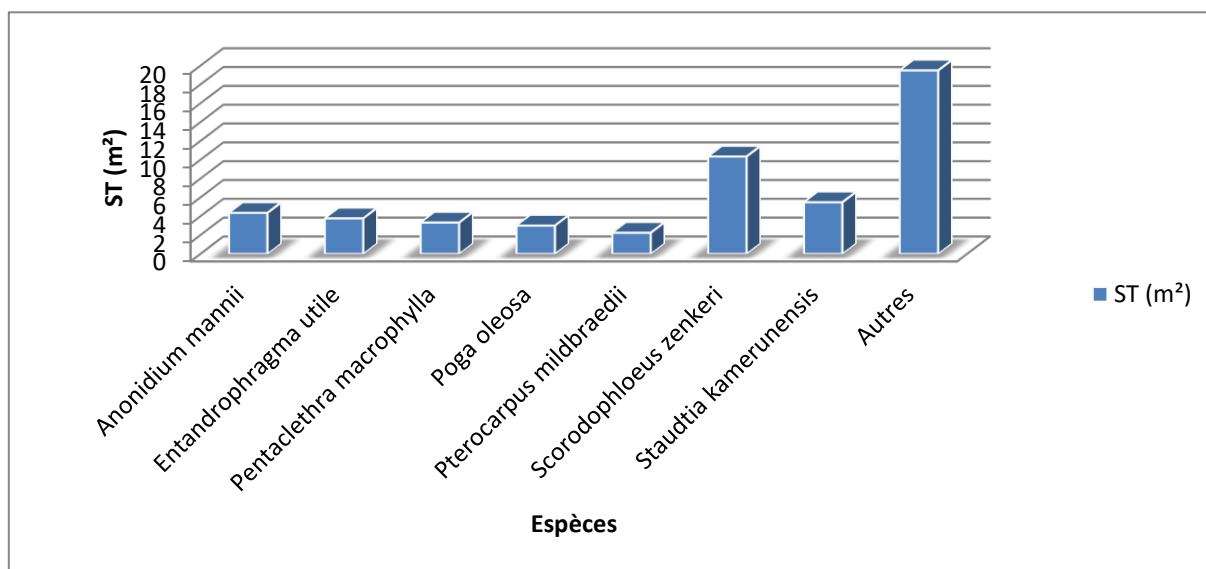


Fig. 4. Surface terrière des espèces recensées

3.2.1 CLASSES DE DIAMETRE ET MARCHE DE LA SURFACE TERRIERE

La figure 3 présente le nombre d'espèces/ha des essences ligneuses, les valeurs et la marche de la surface terrière en fonction des classes de diamètre (établies à partir des données du tableau1 en annexe), du peuplement. L'observation minutieuse de cette figure, met en évidence la prédominance des individus de 2 classes de diamètre: 10-29cm et 30-49cm, lesquelles comptent respectivement 249 et 124 pieds/ha, soit 56,71 et 28,24 %. Les individus de la classe de diamètre située entre 50-69cm se placent en 2^{me} position, très loin de 2 premières avec 40 pieds/ha, soit 9,1%. Le nombre des troncs dont le diamètre mesuré à 1,30m du sol et faisant partis de classe de diamètre ≥ 70 cm est dans l'ensemble de 26 pieds/ha, soit 5,92%. Quant à la surface terrière, la figure 2 montre clairement sa marche au sein des individus du peuplement de la phytocénose

étudiée et cela en fonction des classes de diamètre. Elle est de l'ordre de 52,11m²/ha dont 19,38m²/ha pour l'ensemble structurale supérieure, 11,89m²/ha pour l'ensemble structurale moyen et 21,05m²/ha pour l'ensemble structurale bas.

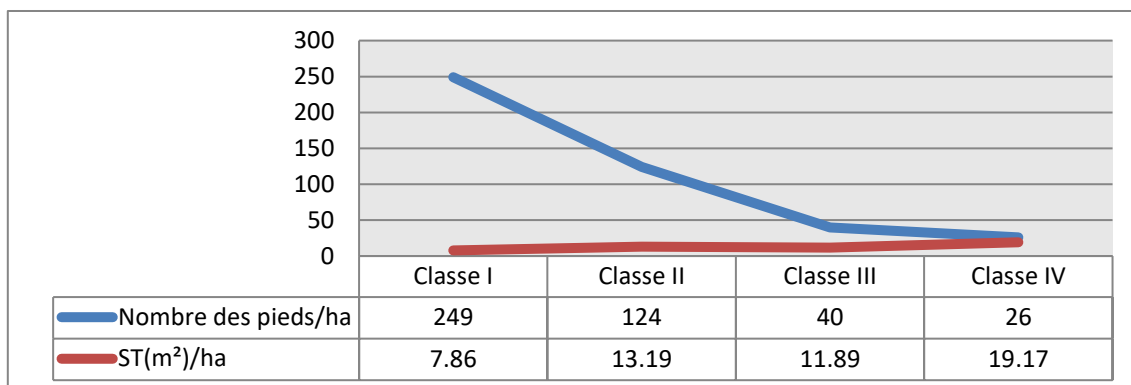


Fig. 5. Classes de diamètre et marche de la surface terrière

Légende:

La classe I: intervalle de 10-29

La classe II: intervalle de 30-49

La classe III: intervalle de 50-69

La classe IV: ≥ 70

3.2.2 DIAMÈTRE

Le diamètre moyen des arbres répertorié dans la phytocénose « MAMBALA » est de 31,77cm. Parmi les essences présentant des valeurs moyennes de diamètre mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine, on peut citer: *Pentaclethra macrophylla*, *Poga oleosa*, *Entandrophragma cylindricum*, *Milicia excelsa*, *Aubrevillea kerstingii*, *Anthrocaryon klaineianum*, *Anthocleista schweinfurthii*, *Staudtia kamerunensis*, *Distemonanthus benthamianus*, *Anonidium mannii*, etc., avec respectivement 91,32; 85,43; 78,01; 57,16; 53,69; 50,31; 43,30; 40,04; 37,07 et 36,14cm. Les valeurs de diamètre moyen les plus faibles ont été observées chez *Piptadeniastrum africanum* avec 14,01cm et *Manilkara sp* avec 14,17cm. Les valeurs de diamètre mesuré à 1,30 à hauteur de poitrine pour les espèces les plus représentatives sont présentées dans la figure 6.

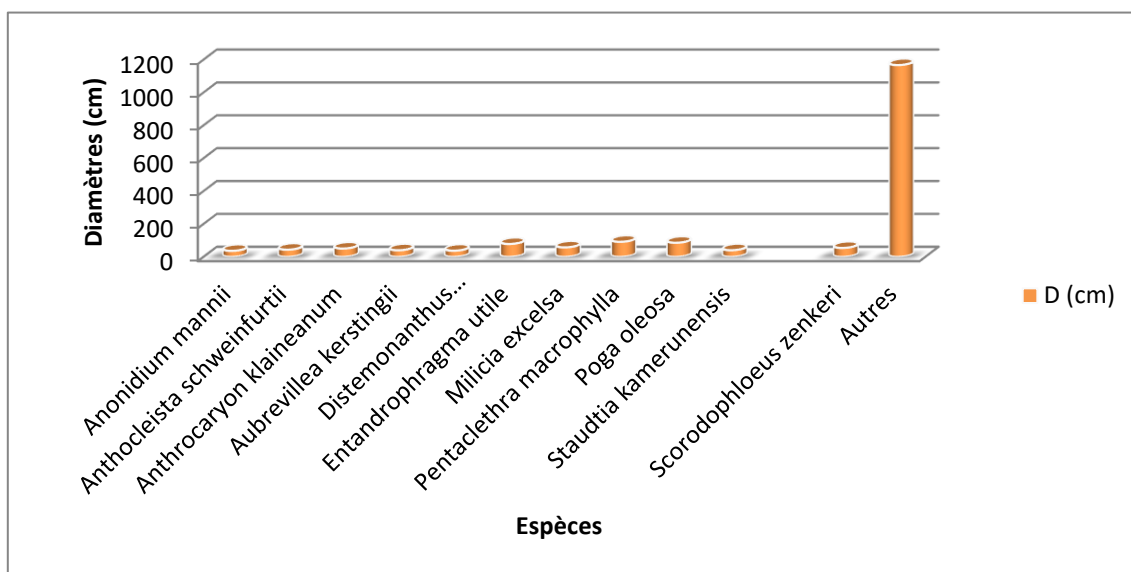


Fig. 6. Les valeurs de diamètre mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine pour les espèces les plus représentatives

3.2.3 BIOMASSE AÉRIENNE

La valeur de la biomasse totale des arbres recensés dans ce massif forestier est de 616,93t/ha. Les essences suivantes présentent les valeurs de biomasse aérienne les plus importantes: *Scorodophloeus zenkeri* avec 126,33t/ha, *Staudtia kamerunensis* avec 68,38t/ha, *Anonidium mannii* avec 56,55t/ha, *Entandrophragma utile* avec 41,26t/ha; Suivent loin derrière *Pterocarpus mildbraedii*, *Poga oleosa*, *Aubrevillea kerstingii*, *Tessmania africana*, *Milicia excelsa* avec respectivement: 28,66; 25,43; 16,83; 15,02 et 14,46t/ha. Deux espèces présentent les valeurs de biomasse les plus faibles. Il s'agit de *Maranthes glabra* (0,28t/ha); *Piptadeniastrum africanum* (0,23t/ha) et *Manilkara sp* (0,48t/ha). Quant aux autres espèces prises ensembles, elles forment 174,84t/ha.

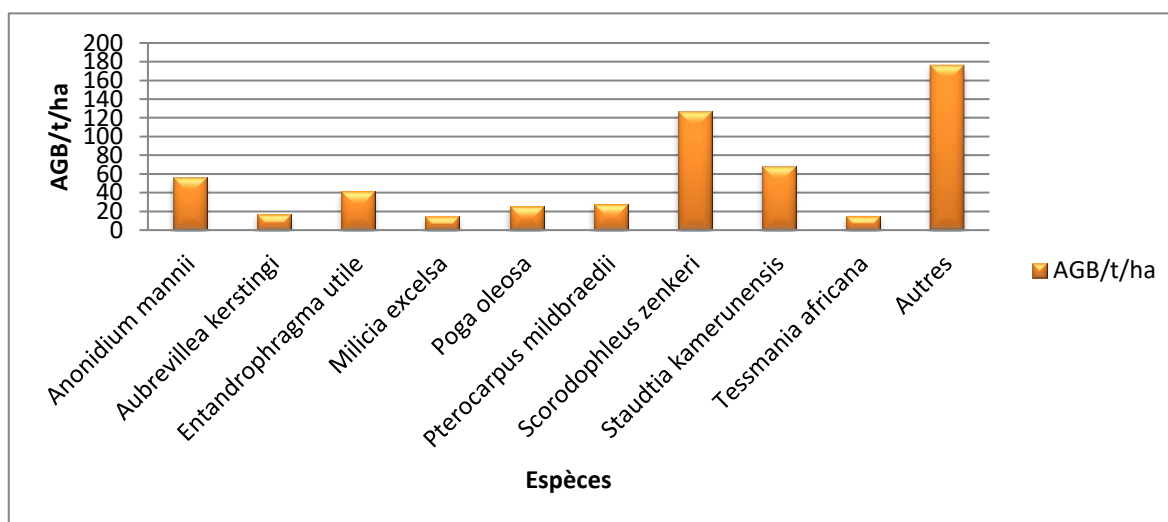


Fig. 7. Valeur de biomasse aérienne

3.3 CARBONE SÉQUESTRE ET ÉQUIVALENT CARBONE

La valeur totale de carbone séquestré par les essences inventoriées est de 317,05t/ha; alors que celle de l'équivalent carbone est de 984,58t/ha. 12 espèces présentent les valeurs de stockage de carbone et d'équivalent carbone les plus importantes: *Scorodophloeus zenkeri* (59,37 et 199,88t/ha), *Staudtia kamerunensis* (32,13 et 108,18t/ha), *Anonidium mannii* (26,61 et 89,48t/ha), *Entandrophragma utile* (19,39 et 65,27t/ha), *Pterocarpus mildbraedii* (13,21 et 44,44t/ha), *Pentaclethra macrophylla* (13,08 et 44,06t/ha), *Poga oleosa* (11,95 et 40,25t/ha), *Athrocaryon klaineianum* (9,84 et 33,10t/ha), *Aubrevillea kerstingii* (7,92 et 26,63t/ha), *Tessmania africana* (7,06 et 13,74t/ha), *Milicia excelsa* (6,80 et 22,89t/ha), *Petersianthus macrocarpus* (6,12 et 20,50t/ha) et *Distemonanthus benthamianus* (5,52 et 18,62t/ha). Les valeurs les plus faibles de ces deux paramètres ont été obtenues chez: *Maranthes glabra* 0,13 et 0,44t/ha, *Manilkara sp* avec 0,24 et 0,76t/ha et *Piptadeniastrum africanum* avec 0,11 et 0,37 t/ha. La figure 8 donne le Carbone séquestré et équivalent carbone.

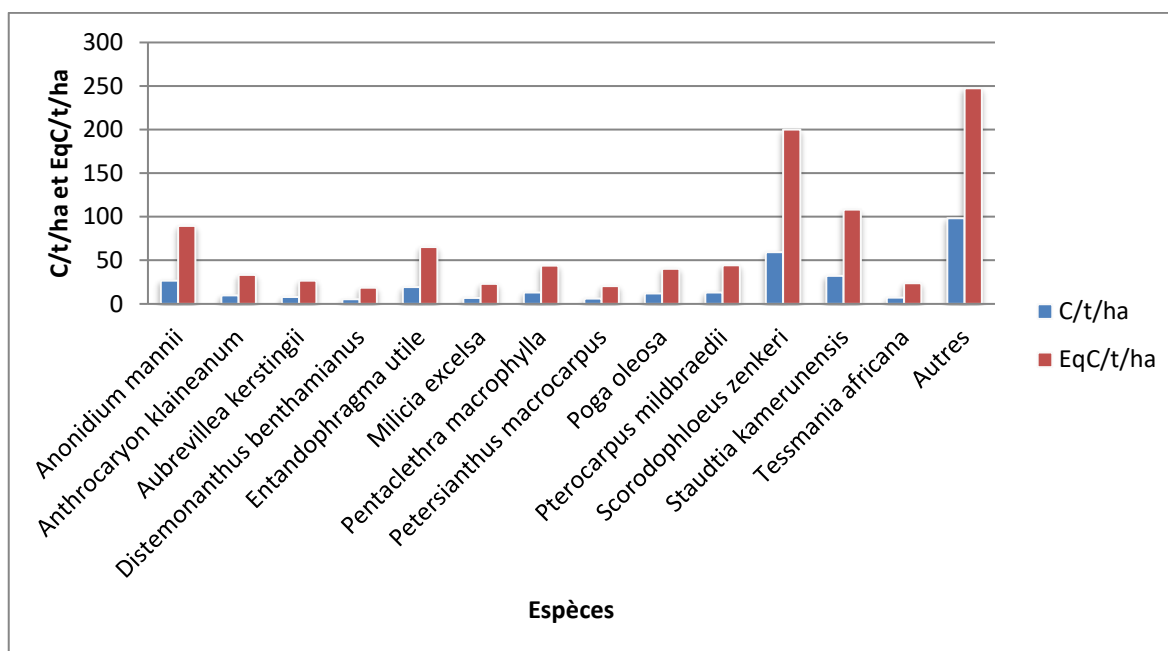


Fig. 8. Carbone séquestré et équivalent carbone. 3.4 Spectres écologiques

- Types biologiques

L'observation de cette figure met en évidence la prédominance des Mésophanérophytes qui rassemblent 36 espèces, soit 64,2%, les Mégaphanérophytes viennent en deuxième position avec 17 espèces, soit 30,35% et les Microphanérophytes ne comptent que 3 espèces, soit 5,35%. Les types biologiques des espèces recensées sont repris dans la figure 8.

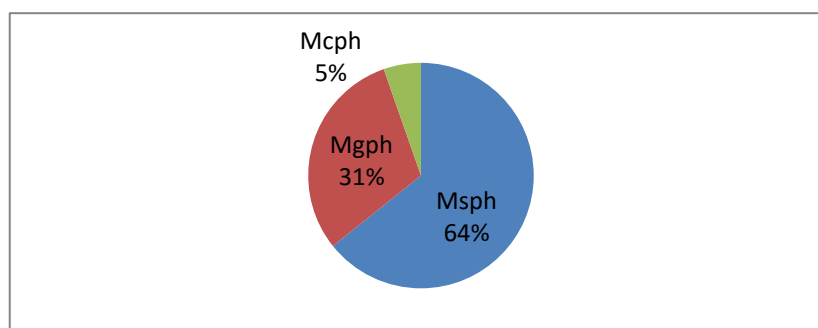


Fig. 9. Types biologiques

Légende: Msph: Mésophanérophyte
Mgph: Mégaphanérophyte
Mcph: Microphanérophyte

- Types de diaspores

Sur quatre types de diaspores de la zone d'étude, les sarcochores viennent en première position avec 69,64%, suivi de ballochores avec 15,78%, ptérochore avec 12,5% et pogonochore viennent en dernière position avec 1,78%. Les différents types des diaspores de toutes les espèces recensées sont repris à la figure 9.

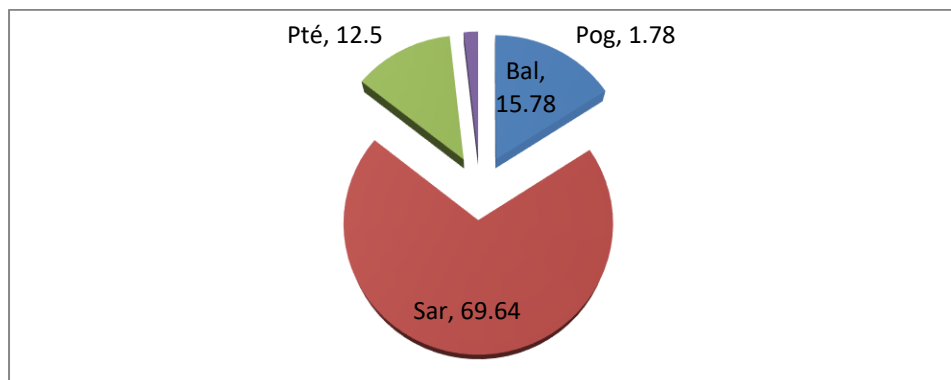


Fig. 10. Types de diaspores

Légende: Sar: Sarcochore
Bal: Ballochore
Pog: Pogonochore
Pté: Ptérochore

- Types foliaires

Le spectre de types de grandeur foliaire nous fait voir qu'il y a un nombre plus élevé des espèces mésophylles avec 52 espèces, soit 92,9% et suivi respectivement des: macrophanérophylles et microphanérophylles avec 3 et 1 espèces chacune, soit 5,26 et 1,75%. Les résultats de type foliaire des espèces répertoriées sont repris dans la figure 10.

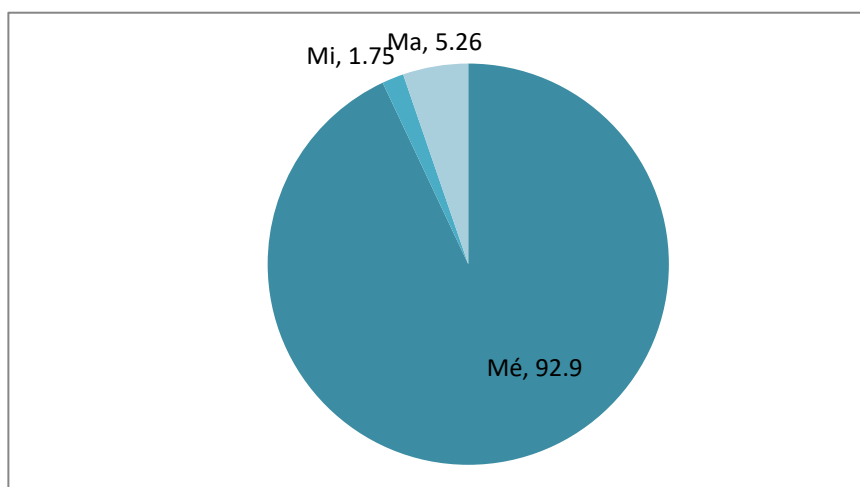


Fig. 11. Types foliaires

Légende: Mé: Mésophanérophylle
Ma: Macrophanérophylle
Mi: Microphanérophylle

- Types de distribution phytogéographique

Il ressort de la lecture de cette figure qu'il y a une nette dominance des espèces de l'élément guinéo-congolais (GC+CG). Cet élément compte 53 espèces à lui seul, soit 96,6 du total. Dans ce groupe les espèces guinéo-congolaises sont les plus importantes (59,9%). L'élément Afro-tropical ne rassemble que 3 espèces, soit 5,35. Il est moins représenté. Les résultats sur les types de distribution phytogéographique des espèces inventoriées sont présentés dans la figure 11.

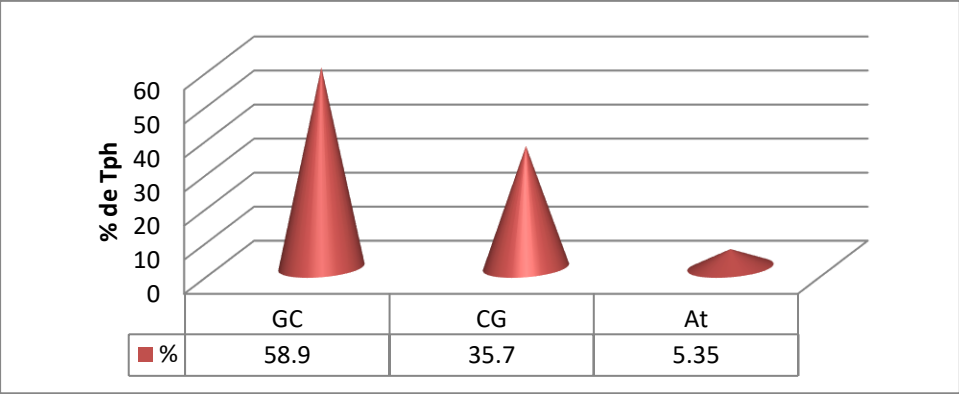


Fig. 12. Types de distributions phytogéographiques

Légende: GC: Guinéo-congolais
CG: Centro-guineen
At: Afro-tropical

- Groupes éco-sociologiques

En ce qui concerne le groupe socio-écologique, nous observons la dominance de *Strombosia-Parinarietea* avec 42 espèces, soit 75%, suivi des *Musango-Terminalietea* avec 11 espèces, soit 19,64% et les *Halletea stipulosae* ferment la marche avec 3 espèces, soit 5,35%. Les différents groupes éco sociologiques de toutes les espèces recensées sont repris à la figure 12:

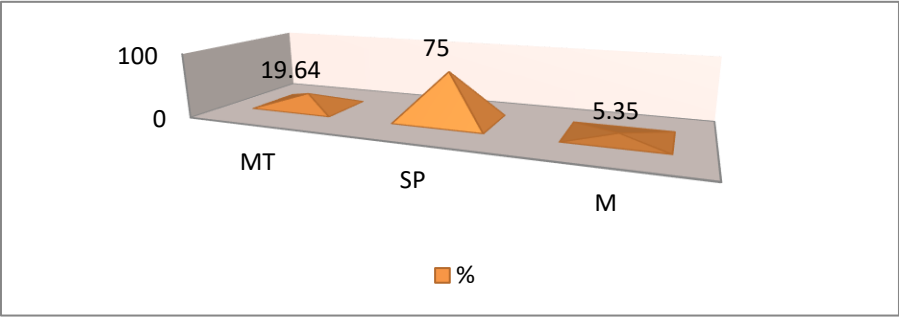


Fig. 13. Groupes éco sociologiques

Légende: MT: Musango-Terminalietea;
SP: Strombosia-Parinarietea;
M: Halletea stipulosae.

Corrélation entre la biomasse aérienne et diamètre

Le test de Pearson appliqué montre qu'il existe une corrélation positive entre le diamètre et la biomasse aérienne des arbres à dbh mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine (coefficient de Pearson $T = 0,93$). La quantité de la biomasse aérienne contenue dans un arbre est fonction de sa croissance en épaisseur. Ainsi, plus le diamètre est important (grand) plus la quantité de biomasse est aussi important. La corrélation entre biomasse aérienne et le diamètre est représentée dans la figure 13.

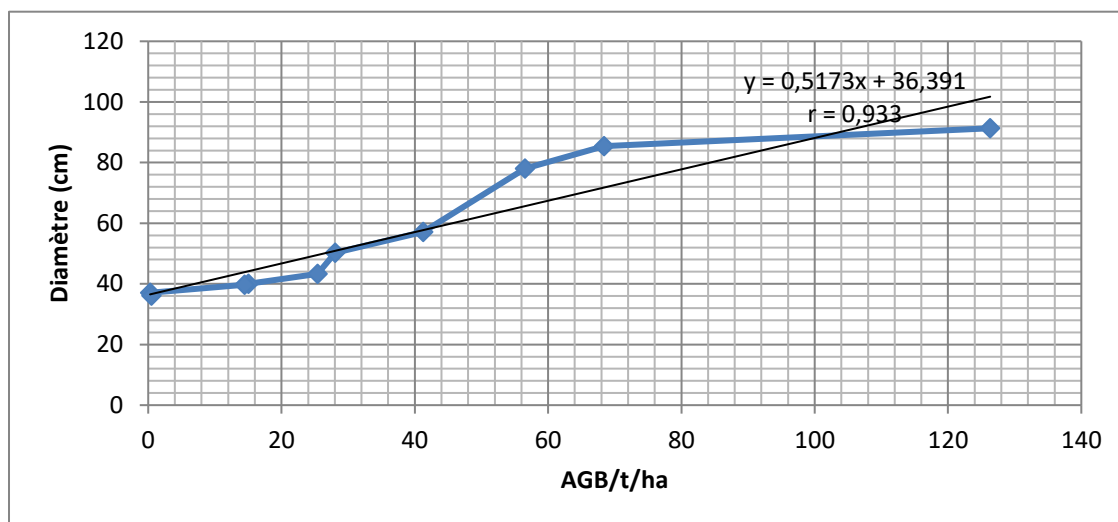


Fig. 14. Corrélation entre biomasse aérienne et diamètre

Le test de Pearson appliqué montre qu'il existe une corrélation positive entre le diamètre et la biomasse aérienne des arbres à dbh mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine (coefficient de Pearson $T = 0,93$). La quantité de la biomasse aérienne contenue dans un arbre est fonction de sa croissance en épaisseur. Ainsi, plus le diamètre est important (grand) plus la quantité de biomasse est aussi important.

Corrélation entre le carbone et le diamètre

Coefficient de Pearson $T = 0,88$ est hautement significative. Ceci montre qu'il y a une corrélation positive entre le diamètre et le carbone séquestré. Comme dans le cas précédent, la quantité de carbone séquestré est fonction de l'épaisseur de l'arbre. Ainsi, plus le diamètre est important (grand) plus la quantité de carbone est aussi important. La corrélation entre le carbone et le diamètre est présentée dans la figure 14.

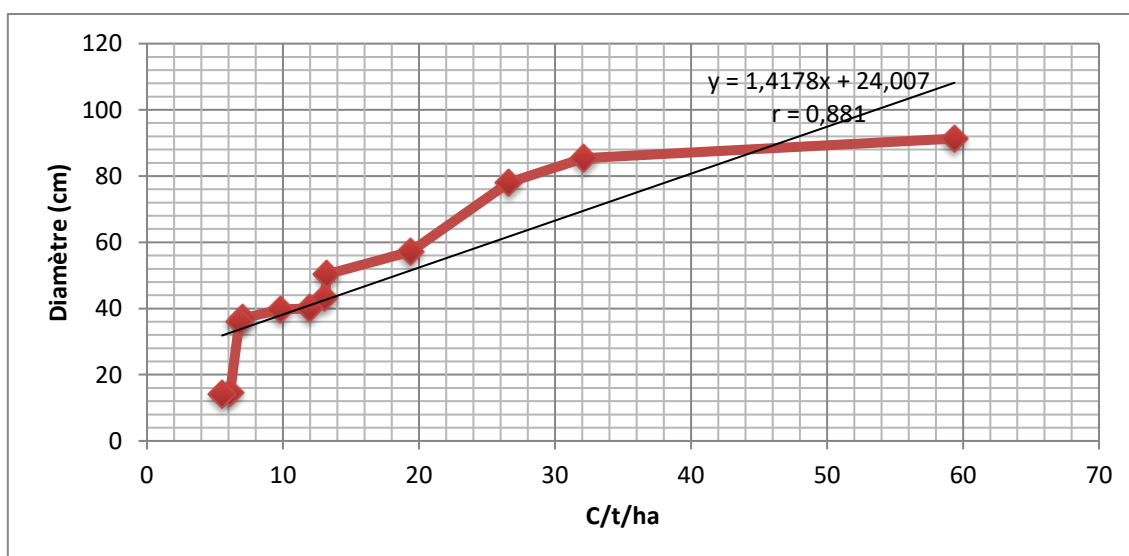


Fig. 15. Corrélation entre carbone et diamètre

4 DISCUSSION

L'inventaire floristique effectué dans le massif forestier « Mambala » a été focalisé surtout sur certains paramètres écologiques, notamment la surface terrière, la biomasse aérienne des arbres dont le dbh mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine est supérieur ou égal à 10 Cm, le stockage de carbone par des essences ainsi que l'équivalent carbone. Les valeurs de la surface terrière, de la biomasse aérienne, de carbone séquestré et de l'équivalent carbone recensé ont été respectivement de 52,07m²/ha et de 616,93; 317,05 et 984,58 tonnes/ha. Les valeurs les plus élevées pour ces quatre paramètres ont été observées chez *Scorodophloeus zenkeri*, *Staudtia kamerunensis*, *Anonidium mannii*, *Entandrophragma utile*, *Poga oleosa*, *Pterocarpus mildbraedii*. Les valeurs obtenues dans la présente étude sont plus élevées que celles obtenus par Koubouana, [22], Wolter [23], Gesnot [24], Lejoly [25]. La valeur de la surface terrière obtenue dans notre travail s'inscrit dans le même ordre de grandeur que celle obtenu par Golley [26] Panama, soit 59,6m²/ha et légèrement supérieure à celle obtenue par Mosango [27] dans la forêt primaire (île Kongolo/Kisangani), soit 45m²/ha. La comparaison des valeurs de biomasse aérienne, de carbone séquestré et d'équivalent carbone obtenues dans la phytocénose Mambala avec celles de formations forestières étudiées dans la même région [38], [39] avec respectivement: (350,66; 168,66; 155,25t/ha et 344,64; 161,9; 546,64t/ha), montre que les valeurs observées dans la forêt de Mambala sont très élevées. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'un grand nombre d'essence à dbh mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine > 50cm.

En ce qui concerne le carbone séquestré, la valeur obtenue dans la phytocénose concernée, soit 317,05 tonnes/ha s'inscrivent dans le même ordre de grandeur que celle obtenue par Durrieu [30] en forêt primaire au Cameroun, soit 310 tonne/ha.

Les mésophanérophytes, les sarcochores et les mésophylles en ce qui concerne les spectres écologiques sont les plus importants dans le peuplement étudié. Ces résultats sont dans les mêmes proportions que ceux obtenus par Mungubushi [31], Makulu [32], Mungenda [33] dans les phytocénoses de la région concernée.

L'élément guinéo-congolais et les espèces de la classe de *Strombosio-Parinarietea* sont les plus dominants au sein de ce massif forestier. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par de nombreux auteurs précités ci-dessus.

Quant à la densité du peuplement étudié, elle est de 439 individus/ha. Ces chiffres se situent dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus par des nombreux chercheurs en Afrique (White [34], Wotter [35], Lejoly [36], etc.) qui, ont respectivement répertorié 397; 468 et 325 individus/ha.

Enfin, l'indice de corrélation de Pearson a montré qu'il existe bien une corrélation positive entre le diamètre et la biomasse aérienne; et entre le diamètre et le carbone séquestré par cette forêt.

5 CONCLUSION

Cette étude détaillée du massif forestier « Mambala » à Kikwit a permis de mettre en évidence la richesse écologique de la biomasse aérienne séquestration du carbone exceptionnelle de cette formation végétale. Elle s'est réalisée par l'inventaire et l'étude de quelques paramètres écologiques notamment, la biomasse aérienne, le carbone séquestré, l'équivalent carbone ainsi que la surface terrière dans une portion de 1 ha.

Les différentes méthodes et techniques utilisés ont aboutis à un recensement de 439 individus/ha regrouper en 56 espèces d'arbres à dbh mesuré à 1,30m à hauteur de poitrine ≥ à 10cm.

Les valeurs élevées mesurées pour les différents paramètres écologiques en témoignent: une surface terrière de 52,07 m²/ha, une biomasse aérienne de 616,93t/ha, un stockage de carbone de 317,05 t/ha et un équivalent carbone de 984,58t/ha. Ces chiffres sont nettement supérieurs à ceux rapportés dans d'autres études menées dans la région, soulignant l'importance capitale de ce massif forestier en tant que réservoir de biodiversité et de services écosystémiques.

L'analyse des spectres écologiques a révélé la prédominance des mésophanérophytes, sarcochores et mésophylles, en accord avec les observations d'autres chercheurs dans les formations végétales similaires. De même, la dominance des éléments guinéo-congolais et des espèces de la classe *Strombosio-Parinarietea* confirme l'appartenance de ce massif à l'ensemble phytogéographique congolais.

La corrélation positive mise en évidence entre le diamètre des arbres et leur biomasse aérienne ainsi que leur capacité de stockage de carbone, souligne l'importance de préserver ces individus de grande taille pour maximiser les bénéfices écologiques de cette forêt.

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude confirment la valeur écologique exceptionnelle du massif forestier "Mambala" et la nécessité urgente de sa conservation à long terme pour le maintien des équilibres environnementaux dans la région.

REFERENCES

- [1] Stavi I., & Lal R., 2013. Agroforestry and biochar to offset climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33: 81-96.
- [2] CIRAD, 2002 *La dégradation des écosystèmes forestiers et ses impacts*. Montpellier: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Volume 1, 150 pages.
- [3] Canadelle, D., et al., 2008. Managing forest of climate change mitigation, 320 pages.
- [4] GIEC, 2007, Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève, Suisse, 103 p.
- [5] Brown, S. 2002. *L'impact de la déforestation sur le climat*. *Revue de l'écologie*, 15 (3), 45-67.
- [6] Dimobe, K., 2017; Dynamique, séquestration de carbone et modèles de variations des savanes soudaniennes du Bourkina Faso et du Ghana (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat. Spécialité: Sciences et Phytoécologie. Laboratoire Biologie/Ecologie Végétale, Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO; Ouagadougou, BF, 179 p.
- [7] FAO, (2011) Les forêts et l'agriculture: un partenariat pour la durabilité. Rome: FAO.
- [8] Glanday, J., 2010. Forêt du bassin du Congo source de richesses et de réduction de la pauvreté.
- [9] Montangni F. et al., 2004. Carbone sequestration an under exploited environmental benefit of agroforestry systems 281 pages.
- [10] Fehr, S., 1990. *La pluviométrie de Kikwit* in piste et recherche vol 5 n°213, ISP-Kikwit page 9-13.
- [11] Devre Syst. et Berce, 1958, Carte des sols et de végétation du Congo Belge.
- [12] Nicolai H., 1963. Le Kwilu, étude géographique d'une région congolaise. LXIX, Cuebec, Bruxelles, 472 pages.
- [13] Vivier, J. et Faure, J., 1985. *Arbres des forêts dense d'Afrique centrale*, France, 565 pages.
- [14] GIEC, 2008. Compte rendu de la 29^{ème} session du groupe intergouvernemental sur l'évaluation du climat, 67 pages.
- [15] Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., et D. M. (2005). Mesurer la densité du bois pour les études de stockage de carbone dans les forêts: une revue. *Forêt Écologie et Gestion*, 200 (1-3), 101-113.
- [16] Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., et al. (2016). Estimation de la densité du bois à partir d'images: une nouvelle approche pour évaluer le stockage de carbone dans les forêts. *Forêt Écologie et Gestion*, 376, 1-12.
- [17] Masens, D., 1997. *Etude phytosociologique de la région de Kikwit, Bandundu, RDC*. Th doc. Lab. Bot. Syst. Et phyto. Fac Sc. ULB Bruxelles, 398 pages.
- [18] Raunkiaer, C. (1934). Les formes de vie des plantes et la géographie statistique des plantes. Oxford University Press, 1-120.
- [19] Habiyaemye, C. (1997). *Écologie des forêts tropicales en Afrique centrale*. Presses Universitaires, 1-250.
- [20] Schnell, R. (1971). *Les champignons de la région tropicale*. Éditions scientifiques, 1-300.
- [21] Dansereau, P. (1957). *Les forêts tropicales de l'Amérique et leur écologie*. Éditions de l'Université de Montréal, 1-250.
- [22] Koubouana, M. (1993). *Écologie et gestion des forêts tropicales*. Éditions scientifiques, 1-250.
- [23] Gesnot, D., Dupuy, B., & Goudet, J. (1994). *Les forêts tropicales: écologie et conservation*. Éditions scientifiques, 1-300.
- [24] Wolter, P. (1993). *Écologie des milieux aquatiques*. Éditions universitaires, 1-250.
- [25] Lejoly, J., De Witte, L., & Dauby, G. (1994). *Flore et végétation des forêts tropicales*. Éditions scientifiques, 1-350.
- [26] Golley, F. B., Wiegert, R. G., & B. H. (1975). *Écologie des écosystèmes*. Éditions universitaires, 1-250.
- [27] Mosango, M. (1990). *Écologie et conservation de la biodiversité en Afrique tropicale*. Éditions scientifiques, 1-200.
- [28] Kibe, M. (2017). *Gestion durable des forêts tropicales*. Éditions universitaires, 1-250.
- [29] Obazwa, H. (2017). *Écologie et gestion des ressources forestières*. Éditions universitaires, 1-300.
- [30] Durrieu, S. (2008). *Forêts tropicales: diversité et gestion durable*. Éditions scientifiques, 1-250.
- [31] Mungubushi, J. (2015). *Gestion des écosystèmes forestiers en Afrique centrale*. Éditions universitaires, 1-220.
- [32] Makulu, P. (2015). Biodiversité et conservation des forêts tropicales. Éditions scientifiques, 1-180.
- [33] Mungenda, A. (2016). *Écologie et gestion durable des forêts tropicales*. Éditions universitaires, 1-250.
- [34] White, L. J. T. (1983). *L'écologie des forêts tropicales africaines*. Éditions scientifiques, 1-320.
- [35] Wotter, R. (1993). *Écologie et conservation des écosystèmes forestiers*. Éditions scientifiques, 1-220.
- [36] Lejoly, J. (1995). *Flore et écologie des forêts tropicales*. Éditions universitaires, 1-300.

