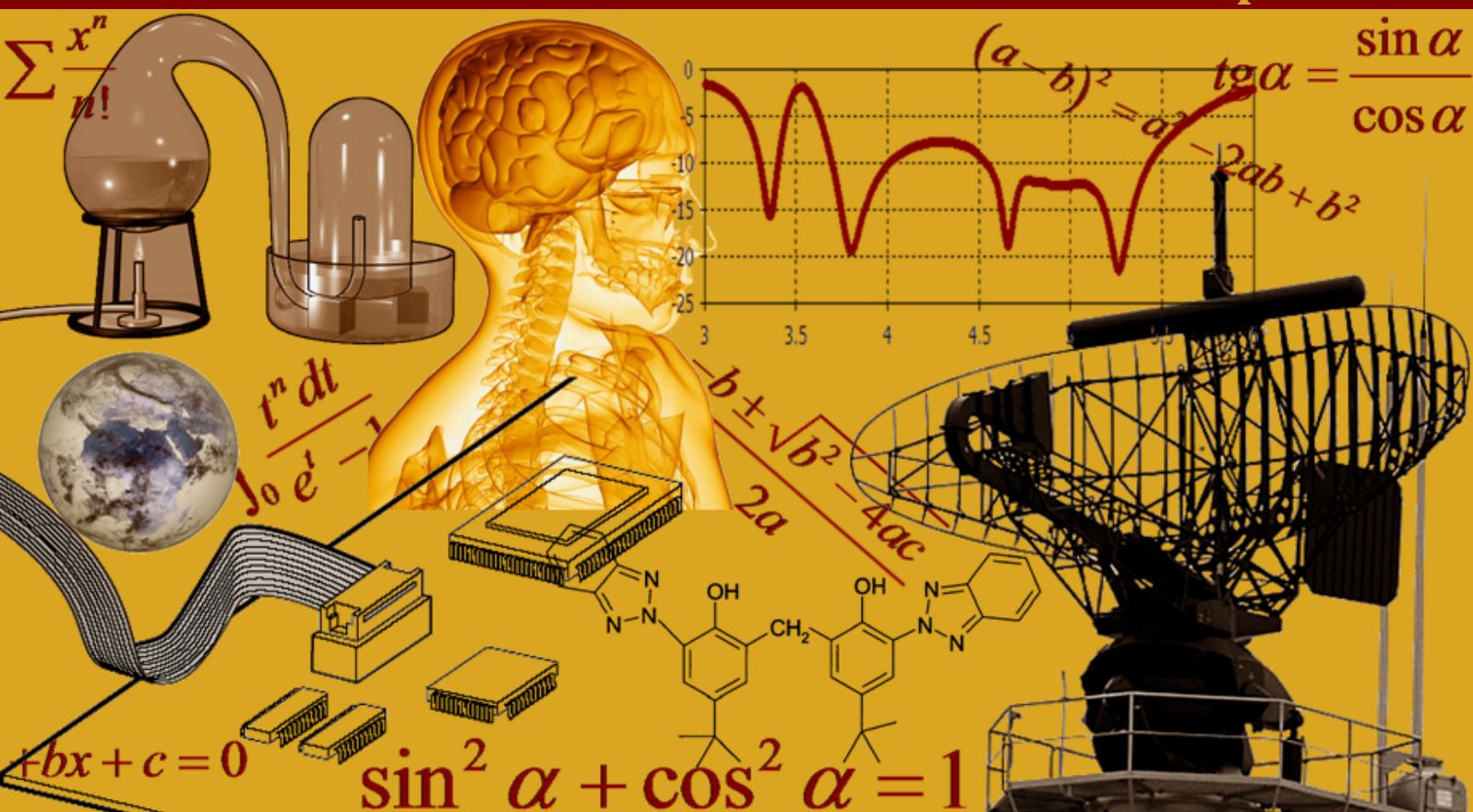


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 60 N. 1 April 2022



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2351-8014) 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

Valorisation des résidus d'algues envahissantes <i>Sargassum</i> spp. en compost en Côte d'Ivoire	1-7
<i>Blé Alexis Tardy Kouassi, N'Guessan Romeo Lozo, Koffi Komoé, and Kouadio Evariste Yao</i>	
Signature géochimique des roches felsiques de la partie sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fetekro (Côte d'Ivoire)	8-19
<i>Coulibaly Inza, Kouamelan Alain Nicaise, Ouattara Aboubakar Sidik, and Yacouba Coulibaly</i>	
Multi-Criteria Decision Making for energy planning in Democratic Republic of Congo: Case study of Idjwi island	20-29
<i>Kamundala Janvier and Raoul Irengé Baguma</i>	
Contamination bactérienne des surfaces et équipements aux services de réanimation et unités de soins intensifs: Quel rôle pour l'équipe en prévention and contrôle des infections (PCI) ?	30-45
<i>Mounir Arai, M. El Feniche, M. Ouhadous, H. Laajane, L. Barrou, and K. Zerouali</i>	
Covid-19: Contribution essentielle de l'équipe en prévention et contrôle de l'infection (PCI)	46-56
<i>Mounir Arai, M. Ouhadous, A. Rafik, H. Laajane, L. Barrou, and K. Zerouali</i>	
Fluctuations de la pollution électromagnétique dans les environs des habitations sous les lignes très haute tension de la ville de Kinshasa	57-65
<i>Crispin Ngoma Bweka, Willy Mulumba Mayaudi, and Joseph Cimbela Kabongo</i>	

Valorisation des résidus d'algues envahissantes *Sargassum* spp. en compost en Côte d'Ivoire

[Valorization of invasive *Sargassum* spp. algal residues into compost in Côte d'Ivoire]

Blé Alexis Tardy Kouassi¹, N'Guessan Romeo Lozo², Koffi Komoé², and Kouadio Evariste Yao¹

¹UFR Sciences biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix-Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present work aims to study the fertilizing power of the invasive algae *Sargassum* spp. in order to initiate their valorization as organic fertilizer in agriculture. The experimental device is composed of two pits of dimensions 1m x 1m with a depth of 1m, filled with 100 kg of rinsed and dried *Sargassum* spp. The pit intended for vermicomposting received 1 week after the beginning of the experiment 1.8 kg of mature earthworms (*Eudrilus eugenia*). The moisture content of the pits was maintained at 60-70%. Samples were taken at the beginning of the experiment and every 4 weeks for 4 months, for analysis at the PETROCI-Côte d'Ivoire laboratory to determine the initial physical and chemical parameters and during the decomposition of *Sargassum* spp. Regarding the physical and chemical characteristics of the residues, some compounds such as phosphorus (20315 ppm) and potassium (24488.8 ppm) have very high values with a slightly basic pH (7.7). During decomposition, nutrients are released and their content increases rapidly in the vermicompost before decreasing generally until the end of the experiment. The residues of *Sargassum* spp. considered as waste by the populations contain important nutrients (C, N, P, K, ...), thus possessing an important fertilizing power potentially favourable to an organic agriculture.

KEYWORDS: Nutrient release, Decomposition, *Sargassum* spp., Compost, valorization.

1 INTRODUCTION

L'envahissement des côtes maritimes par les macro-algues est un fléau de grande envergure qui menace inexorablement les pays côtiers. Ces algues flottent en surface grâce à de petits flotteurs, et se regroupent pour former des « radeaux » avant de se déposer sur le rivage. Elles sont mieux développées dans les îles Caraïbes et leur milieu de prédilection est l'océan Atlantique [1]. Aujourd'hui, elles se sont propagées dans le Golfe de Guinée. Les dépôts d'algues sur les plages ont toujours été considérés comme des déchets gênants, occasionnant de plus une nuisance par les fortes odeurs dégagées lors de leur décomposition. Il faut donc mesurer l'ampleur du phénomène et évaluer son impact sur les activités menées le long du littoral. Dès lors, il se pose un véritable problème aux autorités politiques et au monde scientifique qui doivent entrevoir des solutions au regard de ces dépôts massifs, source d'insalubrité. Le littoral ivoirien n'est pas épargné par ce phénomène d'invasion macro-algale. En effet, de façon saisonnière, l'on assiste à un échouage massif de macro-algues sur les différentes plages du pays qui portent un frein aux activités économiques et touristiques semant un désarroi au sein de la population. Des actions visant à combattre ce fléau ont été initiées à ce jour et consistent à un enlèvement pur et simple de ces algues, suivi du séchage et une incinération ou un enfouissement [2]. Ce combat quoique difficile à mener, est fait avec ardeur et abnégation au quotidien par les pêcheurs et les acteurs du tourisme pour sauvegarder leurs activités. Malgré cette perspicacité, le phénomène s'amplifie au fil des années. C'est pourquoi, il importe d'explorer d'autres voies comme la valorisation de ces algues. Dans cette perspective, les moyens de valorisation des macro-algues doivent être identifiés en tenant compte de 3 principaux axes proposés par [3].

A ce jour quelques voies de valorisation sont proposées et en cours d'expérimentation en Martinique par [3]. Selon [4], au Sénégal, des essais de valorisation ont été effectués par la société SENEGALGUE pour l'extraction de Carraghénane, et, en tant que compost en cultures vivrières à Ngor. En Côte d'Ivoire, les études sur ces algues n'ont porté que sur l'aspect socio-économique [2] et leur abondance et répartition au niveau des côtes [5]. De toutes ces études, l'utilisation de cette algue vivant en milieu riche en nutriments en agronomie n'a jamais été abordée. Compte tenu de l'importance de l'agriculture dans l'économie du pays, sa vulgarisation en tant que compost pourrait résoudre de façon durable le problème d'infertilité de plus en plus récurrent des sols. Le présent travail vise à étudier le pouvoir fertilisant de *Sargassum* spp. par vermicompostage.

2 MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation s'est déroulée de décembre 2020 à avril 2021 sur le site du jardin botanique de l'Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo en Côte d'Ivoire. Le matériel végétal est composé des résidus d'algues envahissantes appartenant au genre *Sargassum*. Il s'agit selon [5] de *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* couramment rencontrées sur les côtes ivoiriennes. Spécifiquement pour cette étude, les échantillons de Sargasses ont été récoltés sur les plages de Jacquville. Quant au matériel animal, il est composé vers de terre *Eudrilus eugenia*.

2.1 PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental est composé de deux fosses de dimension 1m (longueur) x 1m (largeur) x 1m (profondeur). La fosse destinée au vermicompostage a reçu 100 kg de résidus *Sargassum* spp. et 1,8 kg de vers de terre matures une semaine après. Quant à la deuxième fosse, elle a reçu uniquement 100 kg de résidus de *Sargassum* spp. Le contenu des fosses a été humidifié chaque trois jours du début jusqu'à la fin de l'expérience afin de maintenir l'humidité du contenu à 60-70%. Ce contenu a été retourné chaque 15 jours pour permettre d'homogénéiser la décomposition, l'humidité et une volatilisation du CO₂. Des échantillons ont été prélevés en début d'expérimentation et toutes les 4 semaines pendant 4 mois, puis conservés dans des pots pour une analyse au laboratoire de PETROCI-Côte d'Ivoire en vue de déterminer les paramètres physiques et chimiques initiales et lors de la décomposition de *Sargassum* spp. Ces paramètres sont le pH-eau, le carbone organique total (COT), l'azote total (NT), le potassium total (KT), le phosphore total disponible (PTD).

2.2 TESTS STATISTIQUES

L'analyse de variance à un critère de classification (ANOVA I) a été utilisée pour comparer les propriétés physiques et chimiques des 2 types de compost. La signification du test a été déterminée en comparant la probabilité (P) associée à la statistique du test à la valeur théorique $\alpha = 0,05$. Ainsi, lorsque $P < 0,05$, on déduit qu'il n'y a pas de différence entre les valeurs. Par contre, lorsque $P < 0,05$, il existe une différence significative. Le logiciel STATISTICA version 7.1 a servi à réaliser ces tests.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES RESIDUS SARGASSUM SPP.

Le **tableau I** présente les valeurs des différents paramètres mesurés dans les résidus de *Sargassum* spp. Le pH (7,7) est légèrement basique. La teneur en nutriments est faible pour certains composés (COT et Azote) et très élevées pour d'autres (Potassium et Phosphore). Ainsi, la teneur en carbone organique total est 15,14 ppm. La teneur en azote total observée est 1,3 ppm. Pour le potassium, la valeur mesurée est 24488,8 ppm. La teneur en phosphore observées dans les résidus 20315 ppm.

3.1.2 EVOLUTION DU PH ET DES NUTRIMENTS PENDANT LA DECOMPOSITION DE SARGASSUM SPP.

Les résultats du pH du vermicompost et celui du compost sont représentés par la **figure 1**. Le pH (pH=7,3) du vermicompost légèrement neutre à basique croit en passant de 7,3 à 8,1. Le pH du compost neutre à légèrement basique croit en passant de 7,4 à 7,5 puis décroît de 7,5 à 7. Le pH du compost est neutre (pH=7) à la fin de l'expérience.

Les résultats des teneurs en carbone organique total (COT) sont représentés par la **figure 2**. D'une manière générale, ces teneurs sont faibles dans le vermicompost et élevées dans le compost. La valeur la plus élevée a été obtenue en T₄.

La teneur en COT dans le vermicompost croit légèrement de 3,83 ppm à 4,69 ppm. Quant au compost la teneur en COT croit de T₁ (16,8 ppm) à T₂ (20,51 ppm) puis décroît de T₂ (20,51 ppm) à T₄ (25,3 ppm). Une différence significative ($P < 0,05$) a été observée pour ce paramètre entre le vermicompost le compost.

La **figure 3** présente les résultats des teneurs en azote total des résidus de Sargasses lors de sa décomposition. D'une manière générale, les teneurs en azote total sont légèrement supérieures dans le compost que dans le vermicompost. Ces teneurs croissent légèrement dans le vermicompost en passant de 2,11 ppm à 3,9 ppm. Il y va de même pour le compost où les valeurs passent de 2,51 ppm à 4,9 ppm. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée pour ce paramètre entre le compost et le vermicompost.

La **figure 4** présente les variations du rapport C/N en fonction du temps. Une tendance à la chute de ce paramètre en fonction du temps est constatée. Cette tendance est plus marquée dans le vermicompost que dans le compost. Une différence très significative ($p < 0.05$) a été constatée pour ce paramètre entre le compost et le vermicompost.

Tableau 1. Valeurs du pH et des nutriments de *Sargassum spp*

Éléments	pH-eau	COT	N	K	P
Concentrations (ppm)	7,7	15,14	1,3	24488,8	20315

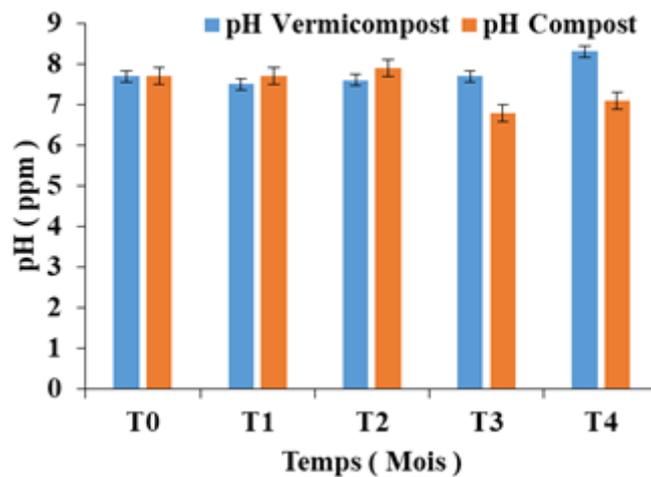


Fig. 1. Evolution du pH dans deux types de compost en fonction du temps

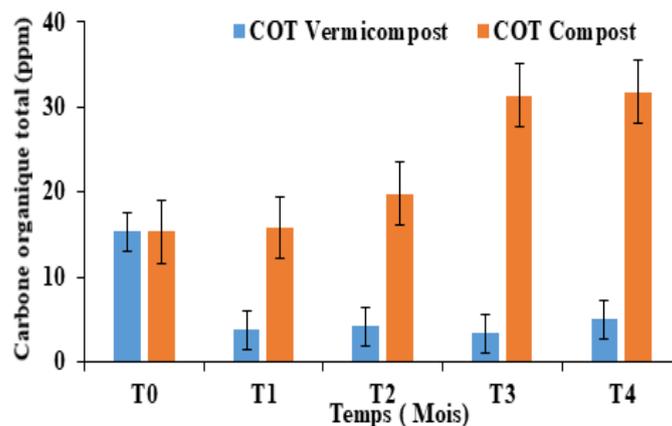


Fig. 2. Evolution du COT dans deux types de compost en fonction du temps

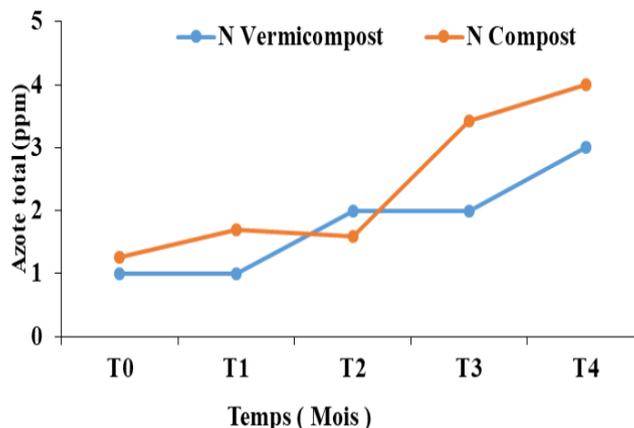


Fig. 3. Evolution de l'azote total dans deux types de compost en fonction du temps

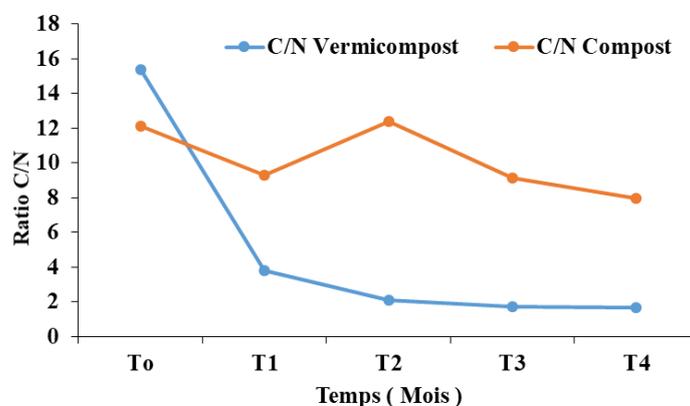


Fig. 4. Evolution du ratio C/N dans deux types de compost en fonction du temps

Les résultats des teneurs en Potassium total sont représentés par la **figure 5**. Celles-ci sont très élevées dans le compost (24501 ppm à 16102,4 ppm) et faible (1497,45 ppm à 235,99 ppm) dans le vermicompost et ont tendance à décroître avec le temps. Une différence très significative ($p < 0.05$) a été constatée pour ce paramètre entre le compost et le vermicompost.

Les résultats des teneurs en phosphore total disponible sont représentés par la **figure 6**. Les teneurs en phosphate ont chuté brusquement de T₁ à T₄ (allant de 1235,49 ppm à 201,2 ppm) dans le vermicompost. Elles ont également chuté de T₁ à T₄ (de 206140 ppm à 7011 ppm) dans le compost. Les teneurs en phosphore total disponible chutent significativement ($P < 0,05$) dans le vermicompost et dans le compost.

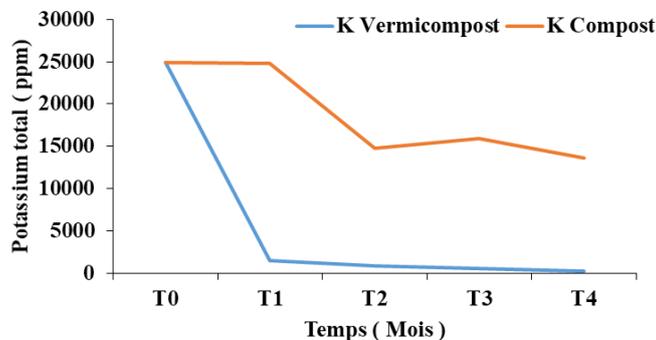


Fig. 5. Evolution du potassium total dans deux types de compost en fonction du temps

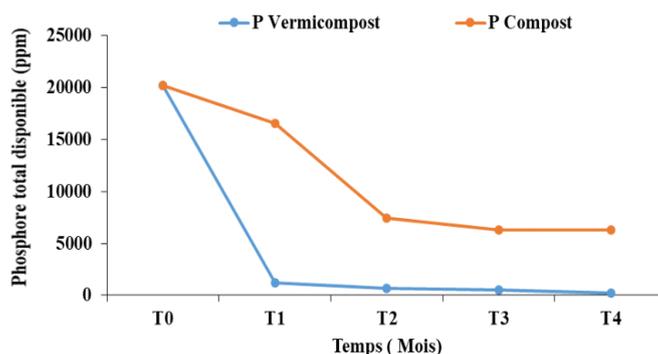


Fig. 6. Evolution du Phosphore total disponible dans deux types de compost en fonction du temps

3.2 DISCUSSION

Dans les résidus de *Sargassum* spp. le pH initial mesuré est légèrement basique (7,7). Cette basicité pourrait être liée à l'accumulation de composés basiques au fil des années. Les différentes teneurs en nutriments sont généralement très élevées pour le Phosphore total disponible et le Potassium total et moyennes pour le Carbone organique total et l'azote total. Ces résultats témoignent de la richesse en nutriments des résidus de *Sargassum* spp. Selon [1], les sargasses peuvent fournir des minéraux et des oligo-éléments qui sont bénéfiques dans la valorisation agricole en tant qu'engrais car c'est une source de N, P et K. En effet, selon ces auteurs, pour sa croissance, les sargasses ne consomment pas d'engrais ou de pesticides. Elles sont donc de meilleures qualités que les végétaux terrestres de ce point de vue pour l'épandage. Par conséquent ces résidus pourraient être utilisés comme engrais organiques pour fertiliser les sols. Des teneurs élevées et supérieures en potassium total ont été observées par [6] et [7] respectivement dans des échantillons de Sargasses du Mexique et du Nigéria. Pour ce qui est du phosphore total disponible, [7] ont enregistré de très fortes valeurs supérieures à celles obtenues lors de la présente étude. Par ailleurs, [8], sur les résidus de mil, de sorgho et de niébé en Ouganda, [9] en Côte d'Ivoire, sur les résidus de maïs, de mil, de riz, de sorgho et de coton ont trouvé des teneurs très élevées en ces nutriments.

Lors de la décomposition de *Sargassum* spp. L'on assiste à une augmentation du pH aussi bien dans le compost que dans le vermicompost avec une tendance plus marquée pour le dernier. Cet état pourrait être lié à l'activité de la faune présente dans le milieu avec une amplification apportée par les vers de terre qui ont tendance à neutraliser les acides organiques au fur et à mesure que leur nombre augmente avec le temps de compostage. Des résultats similaires ont été obtenus par [10], [11] ainsi que [12], qui attestent que les vers de terre modifient généralement le pH de leur environnement vers la neutralité ou une légère basicité et n'aiment pas vivre dans les milieux dont le pH est en dessous de 5. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [13], [14], [15] et [16]. En effet, lors de leurs travaux sur le compostage et le vermicompostage de différents déchets d'animaux, ces auteurs ont montré une diminution du pH vers l'acidité.

On observe à première vue une forte teneur en COT dans le compost que dans le vermicompost. L'explication plausible proviendrait de la forte minéralisation du carbone par les vers de terre qui entraînerait une perte du carbone sous forme de CO₂ qui se volatilise. En effet, selon [17], le mucus sécrété par ces vers stimulerait l'activité des microorganismes particulièrement des bactéries en latence. En outre, de T0 à T1 pour le vermicompost et de T0 à T3 pour le compost, on observe des variations qui s'opposent. L'explication provient du fait que la biomasse de Sargasse, bien séchée et conservé pendant un mois avant le début de l'expérimentation serait déjà dans un état de minéralisation avancé. La diminution serait en fait, en partie due, à sa consommation par les vers de terre. Par contre, son augmentation dans le compost avec le temps pourrait être associée à sa libération progressive lors du processus naturel de décomposition.

Les teneurs en azote total augmentent lors du vermicompostage et du compostage de *Sargassum* spp. Cette croissance s'expliquerait par la forte minéralisation de l'azote par les vers de terre et par les microorganismes. Nos résultats sont similaires avec ceux de [18] et [12] qui ont expliqué que l'augmentation de la teneur en azote du vermicompost est due à une addition d'azote sous forme de mucus, de substances excrétoires azotées, à une augmentation de la sécrétion des hormones et des enzymes par les vers de terre.

Selon [19], le ratio C/N est généralement utilisé comme un indice de maturité des déchets organiques. C'est le paramètre chimique le plus important pour évaluer le degré de maturité des déchets organiques en décomposition. Les valeurs mesurées 11,64 à 1,02 et 11,64 à 5,16 respectivement pour le vermicompost et le compost sont généralement basses et témoigneraient du degré impressionnant de libération des nutriments au cours de la phase de décomposition.

Une diminution de la teneur du potassium total et du phosphore total disponible est observée au cours de l'expérimentation avec une tendance plus accentuée pour le vermicompost. Cette tendance à la chute serait inhérente, selon [12], au phénomène de lessivage causé par l'excès d'eau qui s'infiltré dans la fosse pendant le phénomène d'arrosage. Cette tendance au lessivage des minéraux pourrait être accentuée par l'activité des vers de terre qui augmenterait la porosité au niveau de la biomasse de *Sargassum* spp. Pour les teneurs en potassium, des résultats similaires ont été reportés par [20] et [12]. Quant au phosphore total disponible, [21], ainsi que [12] ont observé une augmentation de sa teneur au cours du vermicompostage en relation avec l'activité phosphatasique fécale des vers de terre et la stimulation de la microflore de la biomasse algale. Ici, le lessivage important pourrait l'emporter sur l'activité de la faune et la microfaune dans la fosse provoquant donc une baisse du phosphore.

4 CONCLUSION

La détermination des caractéristiques physico-chimiques initiales, le suivi de l'évolution du pH et des nutriments lors de la décomposition des résidus de *Sargassum* spp. ont été abordés dans le présent travail.

Pour ce qui est des caractéristiques de certains composés comme le phosphore total disponible et le potassium total, les valeurs sont très élevées. Les résidus de Sargasses ont un pH légèrement basique.

Lors de la décomposition, on assiste à une libération des nutriments dont les teneurs augmentent rapidement dans le vermicompost avant de décroître de façon générale jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Cette étude a montré que les résidus de *Sargassum* spp. considérés comme des déchets gênant par les populations renferment des nutriments importants (C, N, P, K, ...) donc possèdent un pouvoir fertilisant important potentiellement propices à une agriculture biologique.

REFERENCES

- [1] M'chichi K. et Dembélé S. (2018). Rapport du Projet de fin d'études « Les sargasses ». Astee (Association des Sciences de Traitement de l'Eau et de l'Environnement). 15p.
- [2] Aka K. S., Sankare Y., Komoe K. and N'cho A. J. (2016). Influence des algues (*Sargassum fluitans*, *Sargassum natans*) sur les activités socio-économiques le long du littoral ivoirien (Côte d'Ivoire-Afrique de l'ouest). *Revue Canadienne de Géographie Tropicale*, 5 (2): 10-15.
- [3] Ademe. (2012). Programme de recherche de l'ademe sur les émissions atmosphériques du compostage. Rapport final. 243 p.
- [4] Anne H. F. (1989). Contribution à la valorisation d'algues des côtes Sénégalaises productrices de iota Carragheénane. Thèse de Doctorat en Océanologie à Perpignan, 162p.
- [5] Sankaré Y., Koffi K., Koffi S., N'guessan B. et Abou B. (2016). Répartition et abondance des sargasses *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* (Sargassaceae, Fucales) dans les eaux marines ivoiriennes (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10 (4): 1853-1864.
- [6] Rodríguez-Martínez R. E., Roy P. D., Torrescano-Valle N., Cabanillas-Terán N., Carrillo-Domínguez S., Collado-Vides L., García-Sánchez M. and Van B. I. (2020). Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *Peer J.*, 26 (8): 1-19.
- [7] Oyesiku O. O. and Egunyomi A. (2014). Identification and chemical studies of pelagic masses of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Borgesen) Borgesen (brown algae), found offshore in Ondo State, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 13 (10): 1188-1193.
- [8] Anguria P., Wa G.N. C., Onwonga R. N., Michael A. and Ugen M. A. (2017). Decomposition and Nutrient Release of Selected Cereal and Legume Crop Residues. *Journal of Agricultural Sciences*, 9 (6): 108-119.
- [9] Koné S. A. (2016). Production du maïs grain par une organisation professionnelle agricole: Cas de la cowabo-coop.ca. Mémoire de Licence. Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, 55p.
- [10] Edwards C.A. and Lofty J.R. (1977). *Biology of Earthworms*. London (UK): Chapman and Hall Ltd; 283 pages.
- [11] Datar M. T., Rao M. N., Reddy S. (1997). Vermicomposting a technological option for solid waste management. *J Solid Waste Technol. Manage.*, 24 (2): 89-93.
- [12] Coulibaly S. S. (2014). Optimisation de la technique de vermicompostage des déchets d'élevage pour une production rentable et saine de la forme oléagineuse de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat: Université Nangui Abrogoua, Abidjan (Côte d'Ivoire); 181 pages.
- [13] Atiyeh R. M., Dominguez J., Subler S. and Edwards C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei* Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedologia*, 44: 709 - 724.

- [14] Ndegwa P. M. and Thompson S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting of the treatment and bioconversion of biosolids. *Biores Technol*, 76: 107-112.
- [15] Gunadi B. and Edwards C. A. (2003). The effect of multiple application of different organic wastes on growth, fecundity and survival of *Eisenia foetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia*, 47: 321-330.
- [16] Garg V. K., Yadav Y. K., Sheoran A., Chand S. and Kaushik P. (2006). Livestock excreta management through vermicomposting using an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Environmentalist*, 26: 269-276.
- [17] Suthar S. (2009). Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium stivum* L.) field crop. *International Journal of Plant Production*, 3 (1): 27-38.
- [18] Tripathi G. and Bhardwaj P. (2004). Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia foetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technology*, 92: 275-283.
- [19] Sanchez-Monedero M. A., Cegarra J., Garcia D. and A. R. (2002). Chemical and structural evolution of humic acids during composting. *Biodegradation*, 13: 361-371.
- [20] Orozco F. H., Cegarra J., Trujillo L. M., Trujillo L. M. and Roig A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: Effects on C and N contents and the available ability of nutrients. *Biol Fertil Soil*, 22: 162-166.
- [21] Satchell J.E and Martin K. (1984). Phosphate activity in earthworm faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 16: 191-194.

Signature géochimique des roches felsiques de la partie sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fetekro (Côte d'Ivoire)

Coulibaly Inza¹, Kouamelan Alain Nicaise², Ouattara Aboubakar Sidik¹, and Coulibaly Yacouba²

¹Laboratoire Géosciences et Environnement, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE), Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME), UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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 southern part of the Toumodi-Fetekro greenstone belt is located in central-southeastern Côte d'Ivoire. The lithologies encountered in the felsic rocks can be subdivided in to three units corresponding to volcanic lavas (dacites, rhyodacites and rhyolites), pyroclastics rocks (ignimbrites) and granitoids (granodiorites and granites). All of these lithologies have been generally foliated and metamorphosed in to greenschist facies. Geochemical data show that these felsic rocks are metaluminous to peraluminous, calc-alkaline and have characteristics of magmatic arc rocks ($TiO_2 < 2\%$). The dacites are sodic and the granitoids are "I" Type. Geochemical trends show a possibility of mixing due to the existence of a small Archean legacy component.

KEYWORDS: Birimian, felsic rocks, Côte d'Ivoire, Toumodi-Fetekro belt, Geochemistry.

RESUME: Le partie sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fetekro est située au Centre - Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Les lithologies rencontrées dans les roches felsiques peuvent être subdivisées en trois unités correspondant à des laves volcaniques (Dacites, rhyodacites et rhyolites), des pyroclastites (Ignimbrites) et des granitoïdes (Granodiorites et granites). L'ensemble de ces lithologies a été généralement schistosé et métamorphisé dans le faciès des schistes verts. Les données géochimiques montrent que ces roches felsiques sont métalumineux à peralumineux, calco-alcalines et ont des caractéristiques des roches des arcs magmatiques ($TiO_2 < 2\%$). Les dacites sont sodiques et les granitoïdes sont de type I. Les tendances géochimiques montrent une possibilité de mélange dû à l'existence d'une petite composante hérité archéenne.

MOTS-CLEFS: Birimien, roches felsiques, Côte d'Ivoire, Sillon de Toumodi-Fetekro, Géochimie.

1. INTRODUCTION

Les formations birimiennes renferment des roches plutono-volcaniques, volcanoclastiques et sédimentaires, métamorphosées et intrudées par des massifs de granitoïdes sous des conditions de faciès schistes verts généralement à localement amphibolitique (2,2-2,0 Ga; [1], [2], [3]). Les études pétro-structurales, géochronologiques, géochimiques et géophysiques ont montré que le paléoprotérozoïque est la charnière principale dans l'évolution de la croûte terrestre ([4], [5], [6], [7], [8]). De ce fait, la compréhension de la genèse des formations birimiennes de la dorsale de Man est certainement l'un de problèmes fondamentaux clés des sciences de la terre dans le Craton Ouest-Africain. La Côte d'Ivoire possède la plus grosse part des formations birimiennes de l'Afrique de l'Ouest avec environ 35 % de ces formations. Cependant très peu de travaux scientifiques ont été entrepris tant sur le plan pétrostructural, géochimique, géochronologique et métallogénique. L'objectif de cette étude est de caractériser les felsites de la partie sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fetekro, afin de contribuer à l'amélioration des connaissances pétrologiques du Birimien ivoirien.

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La Côte d'Ivoire appartient au craton ouest africain et plus précisément à la dorsale de Man ou dorsale de Léo (Fig. 1). Elle est constituée d'un socle précambrien qui représente 97,5 % de sa superficie. Ce socle d'âge Précambrien comporte un domaine archéen à l'ouest (3500-2500 Ma) et un domaine protérozoïque à l'est (2500-1600 Ma), séparés par la faille du Sassandra ([9]; Fig. 2). Ces deux domaines résultent de la juxtaposition d'un panneau occidental d'âge Catarchéen à Archéen avec le reste du socle d'âge Protérozoïque inférieur (formations birimiennes). La partie sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fètêkro appartient au domaine Baoulé-Mossi (Fig. 2 et 3). Ce domaine renferme des formations d'âge birimien; le Birimien étant considéré comme un épisode de création crustale entre 2,2 et 2,1 Ga ([1], [4]). Les roches birimiennes couvrent les deux tiers de la Côte d'Ivoire et sont matérialisées par l'alternance de sillons généralement orientés NNE et bordés ou renfermant des granitoïdes qui sont syntectoniques (orientés) ou post-tectoniques (équants) ([10], [11]). Le domaine birimien est constitué de roches birimiennes, principalement des volcanites (tholéitiques et calco-alcalines), des granitoïdes, des volcano-sédiments et sédiments.

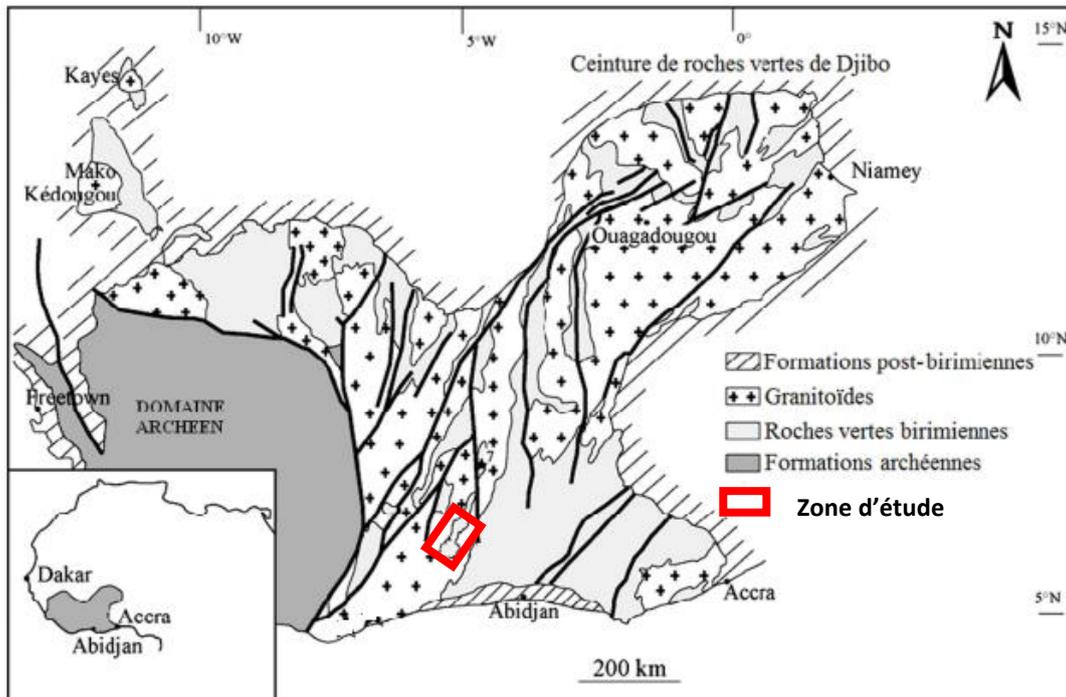


Fig. 1. Carte Géologique Simplifiée De La Dorsale De Man ([16])

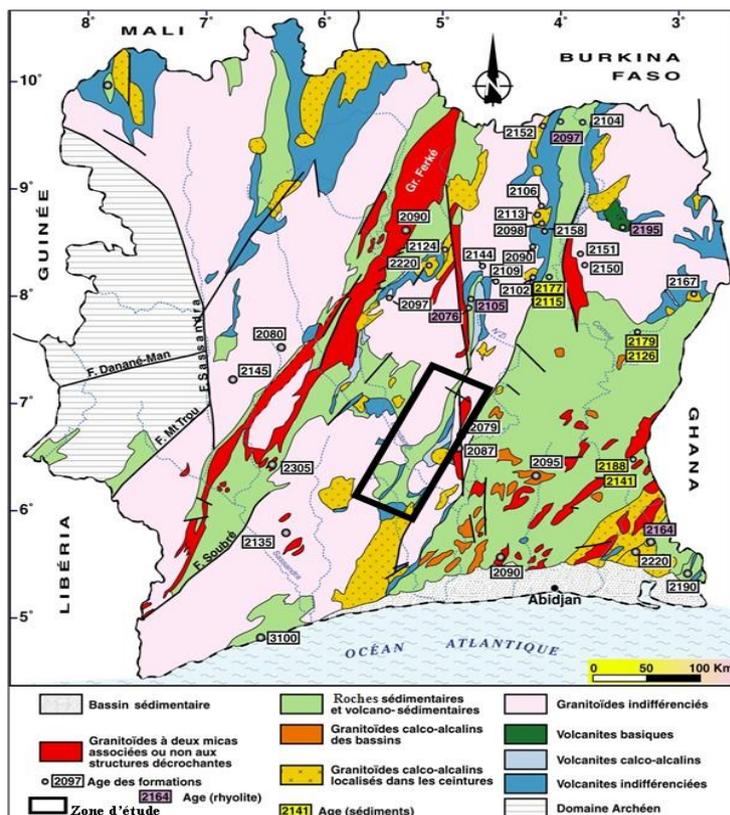


Fig. 2. Carte Géologique Simplifiée De La Côte d'Ivoire Modifiée D'après ([17])

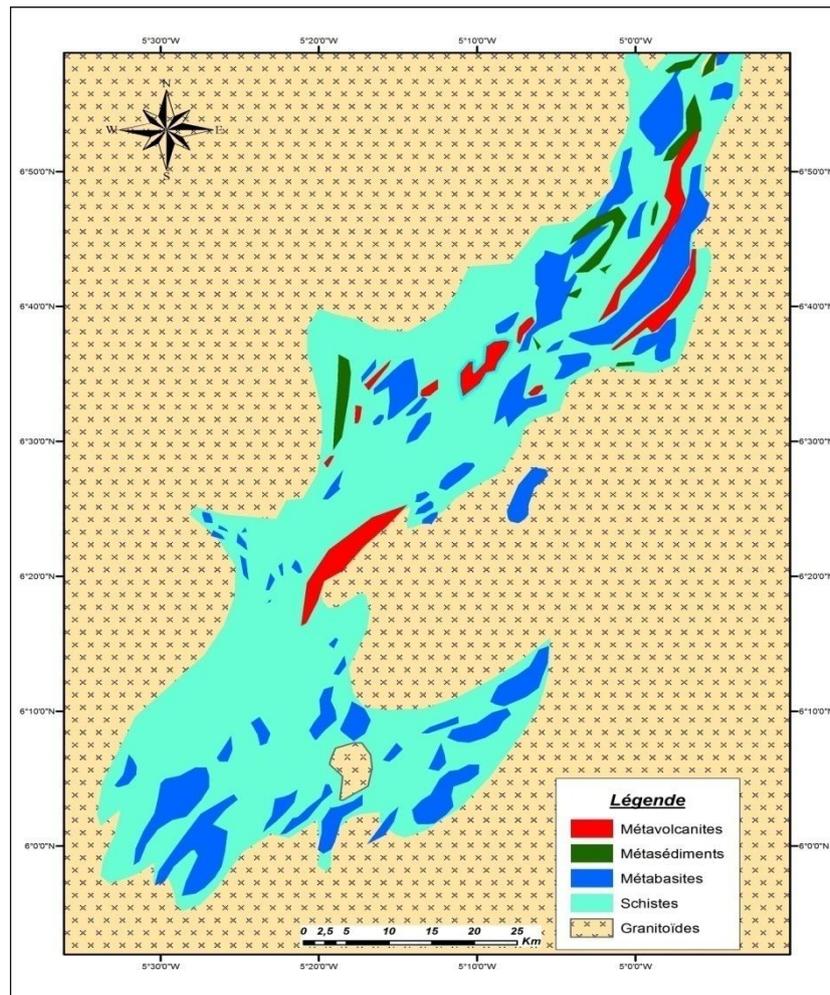


Fig. 3. Carte Géologique Du Sud Sillon Volcano-Sédimentaire De Toumodi-Fètèkro (Région De Toumodi-Divo) ([18])

3. RÉSULTATS

3.1. PÉTROGRAPHIE

Les roches felsiques de la de la partie sud du sillon volcanosédimentaire de Toumodi-Fètèkro sont représentées par des laves volcaniques, des pyroclastites et des granitoïdes.

3.1.1. LAVES VOLCANIQUES

Les laves volcaniques sont constituées de Dacites, de rhyodacites et de rhyolites (**Fig. 4A-C-E**). Ces roches sont massives, de couleurs grises, verdâtres ou beiges, et le plus souvent déformées. Elles sont soit subcirculaires circonscrits en intrusion dans les roches vertes, soit en bandes étroites à la périphérie des roches vertes, soit en blocs disséminés dans les schistes. Les minéraux sont souvent invisibles à l'œil nu. Cependant, les phénocristaux de quartz disséminés dans la matrice ainsi que des cristaux de feldspaths sont identifiables. En lame mince. Ces laves montrent des textures microlitiques à microlitiques porphyriques à phénocristaux de plagioclase, de quartz, d'orthose et d'albite (**Fig. 4B-D-F**). Les phénocristaux de plagioclase sont le plus souvent altérés en carbonates (calcite \pm dolomie), épidotes et séricites. La mésostase est essentiellement constituée de minéraux de carbonates-séricites-épidotes. Certaines sections, observées dans les rhyolites présentent des amigdales remplies de calcites, de cristaux quartzo-feldspathique, souvent associé à la séricite et à la biotite souvent chloritisée. Certaines sections montrent des veinules de quartzo-feldspathiques associées à la séricite, aux oxydes ferrotitanés et sulfures.

3.1.2. PYROCLASTITES ACIDES

Les pyroclastites felsiques proviennent des affleurements d'ignimbrites (**Fig. 5A**). Elles sont de couleurs vertes pâles à gris-clair. Ces affleurements d'ignimbrites s'étendent généralement sur plus de 100 mètres dans la direction NE-SW. A l'affleurement ces roches présentent des clastes rhyolitiques. Au microscope, on observe une texture microlitique porphyrique à phénocristaux de plagioclase généralement déstabilisé en carbonate et de quartz (**Fig. 5B**). La mésostase est vitrée et composée essentiellement de minéraux de carbonates, de séricite et de quartz. On note également la présence de veinule quartzo-feldspathiques souvent déformées. A cela s'ajoute des oxydes ferrotitanés (magnétite et/ou hématite).

3.1.3. GRANITOÏDES

Les granitoïdes sont représentés par les granodiorites et les granites. A l'affleurement, ces roches sont grenues et elles renferment généralement des cristaux de feldspaths (plagioclase et/ou microcline) qui sont très abondants (**Fig. 5C**). On peut observer dans les granodiorites des cristaux d'amphibole. En lame mince, les granodiorites renferment des cristaux de quartz, de plagioclase, de microcline, d'hornblende verte, de biotite, de chlorite, de séricite, d'épidote et de sphène; ainsi que des oxydes ferrotitanés (magnétite et/ou de l'hématite) (**Fig. 5D**). Les granites, Quant à eux, sont riches en plagioclase, quartz et microcline (**Fig. 5 E-F**). A cela s'ajoute des cristaux de muscovite et biotite. Les minéraux secondaires présents sont la chlorite, l'épidote, la séricite et les carbonates. On note également la présence d'oxydes et de rares sulfures.

3.2. GÉOCHIMIE

Les analyses en éléments majeurs des roches felsiques de la partie sud du sillon de Toumodi-Fetekro sont consignées dans le **tableau I**.

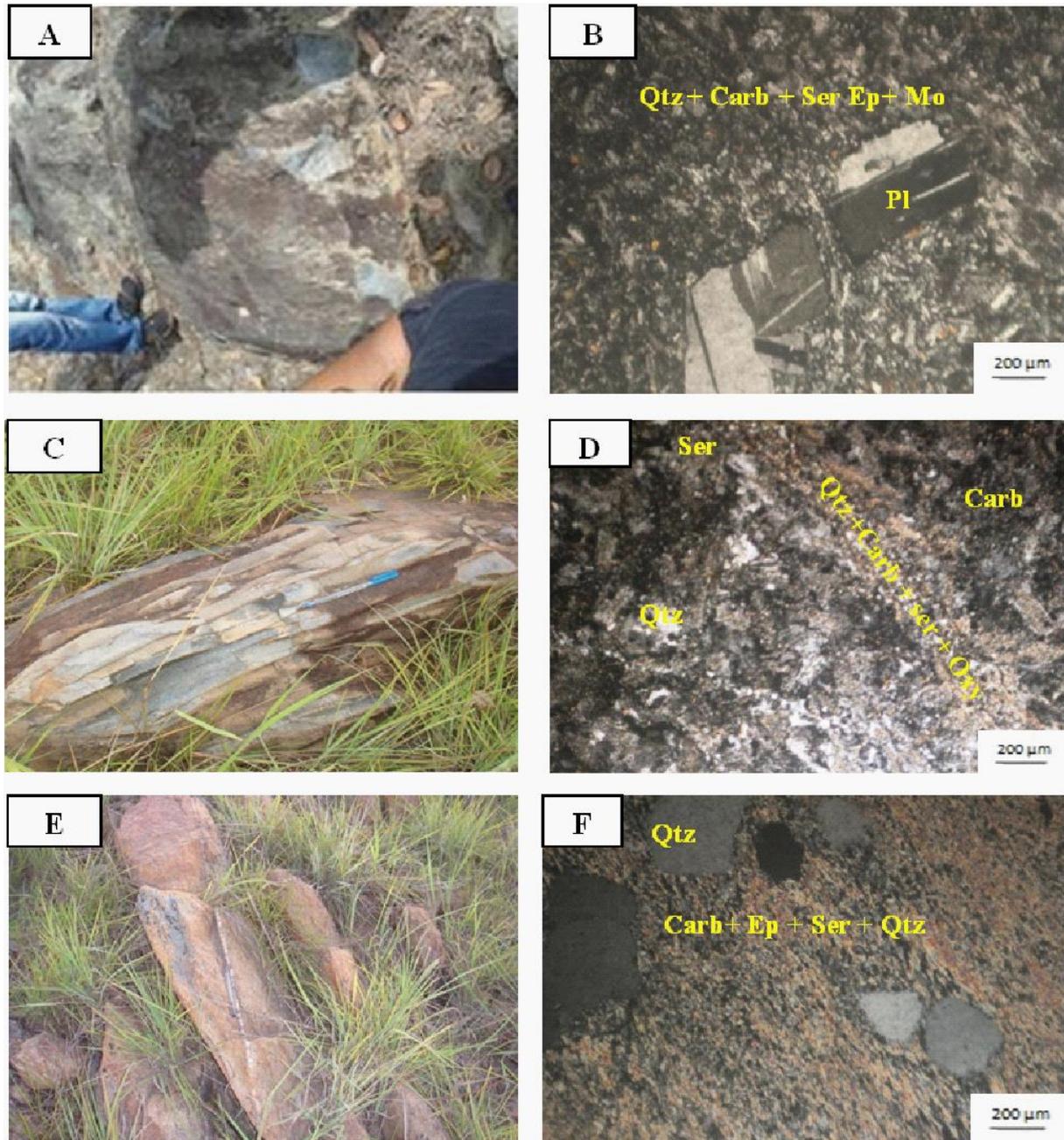


Fig. 4. Aspects Macroscopique Et Microscopiques Des Laves Acides De La Partie Sud Du Sillon Volcano-Sédimentaire De Toumodi-Fètékro

A-B: Dacite; C-D: Rhyodacite; E-F: Rhyolite.

Carb: Carbonate; Ser: Séricite; Ep: Epidote; Pl: Plagioclase; Qtz: Quartz; Oxy: Oxyde.

Oxy: Oxyde.

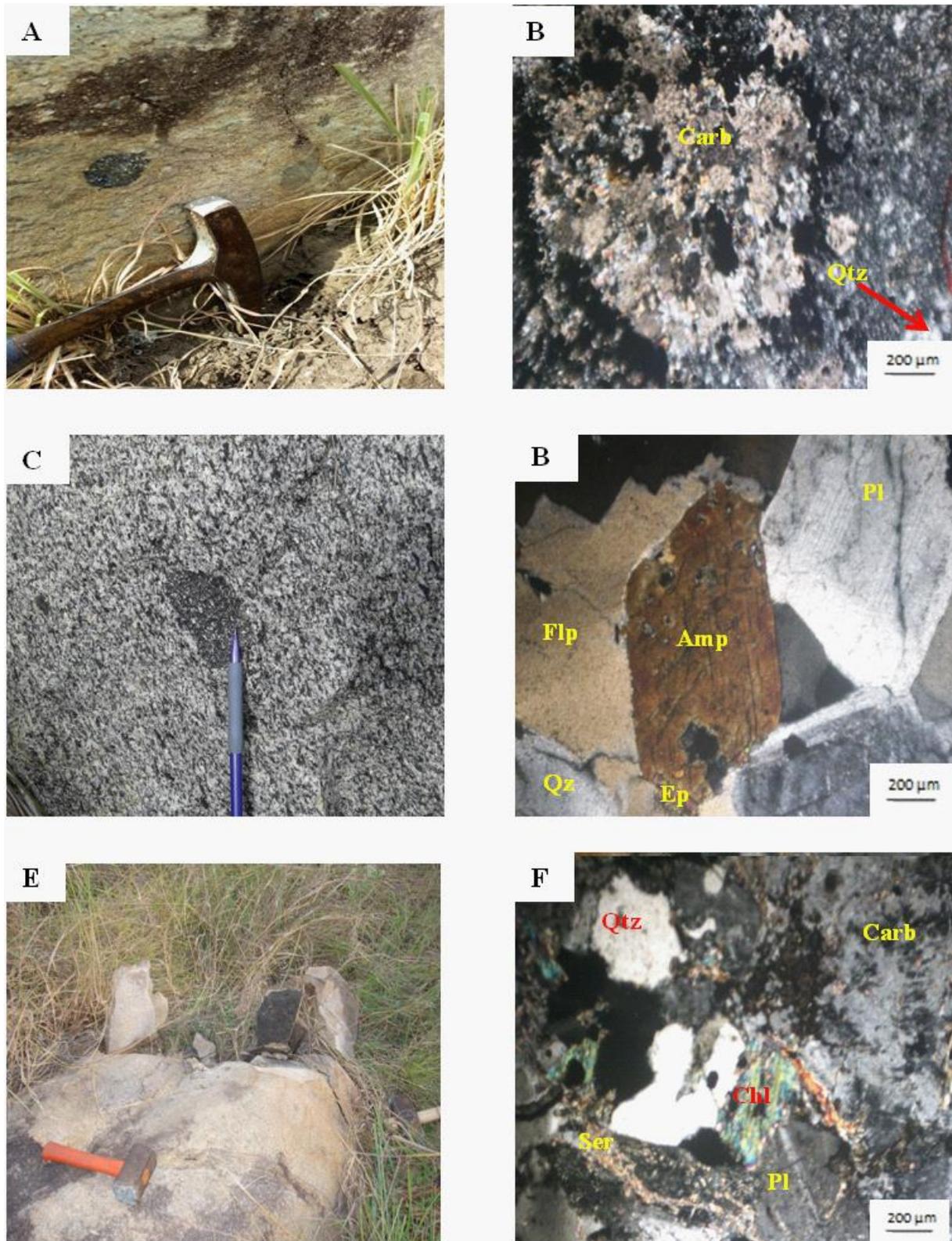


Fig. 5. Aspects Macroscopique Et Microscopiques Des Ignimbrites, Des Granodiorites Et Granites De La Partie Sud Du Sillon Volcano-Sédimentaire De Toumodi-Fètèkro

A-B: Ignimbrite; C-D: Granodiorite; E-F: Granite. Amp: Amphibole.

3.2.1.1. VOLCANITES FELSIQUES

Les volcanites acides avec des teneurs en SiO₂ de 67,36 % à 76,00 % et en alcalins (Na₂O + K₂O) de 3,82 % à 9,11 %, correspondent à des dacites, rhyodacites et rhyolites ([19]; **Fig. 6A**). Il faut toutefois noter que l'échantillon I3, décrit pétrographiquement comme une dacite se situe dans le champ des trachytes/trachydacites. Toutes ces roches acides montrent un ont un chimisme calco-alcalin [20] (**Fig. 6B**) et sont généralement subalcalins, excepté, l'ignimbrite, les rhyodacite, la dacite I3 et la rhyolite I8 qui mon un chimisme alcalin [21] (**Fig. 6 C**).

Tableau 1. Composition en éléments majeurs (%) des roches felsique de la partie sud du sillon de Toumodi-Fètêkro

	Echantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	PF	Total
Dacite	I 1	68.54	15.25	4.08	3.69	1.21	3.9	1.21	0.05	0.44	0.14	<0.01	1.57	100.16
Dacite	I 2	68.28	15.2	3.79	2.56	1.23	5.88	1.34	0.06	0.42	0.15	<0.01	1.05	100.03
Dacite	I 3	65	16.2	4.4	1.02	0.8	4.63	4.57	0.07	0.89	0.23	0.01	1.82	99.64
Rhyodacite	I 4	67.36	14.41	3.84	1.32	0.43	4.7	4.41	0.08	0.8	0.22	-	1.95	99.53
Rhyodacite	I 5	67.86	14.5	4.6	0.81	0.51	5.85	3.01	0.07	0.88	0.27	-	0.79	99.15
Rhyolite	I 6	71.5	13	2.3	2	0.17	3.24	4.41	0.04	0.15	0.03	0.01	2.2	99.05
Rhyolite	I 7	76	15.42	0.82	0.04	0.28	0.16	4.72	0.01	0.26	0.08	-	2.2	99.98
Rhyolite	I 8	70.5	13.15	2.96	1.63	0.68	3.81	3.97	0.09	0.79	0.27	-	1.9	99.74
Ignimbrite	I 9	75	11.56	2.13	0.73	0.25	3.21	4.4	0.05	0.18	<L.D.	-	1.61	99.11
Granodiorite	I 10	66.44	15.13	4.26	3.69	2.09	4.45	2.35	0.06	0.44	0.14	0.01	0.52	99.65
Granodiorite	I 11	68.49	14.35	4.1	2.72	1.33	3.66	3.9	0.06	0.48	0.13	<0.01	0.35	99.66
Granite	I 12	70.27	15.32	2.12	1.6	0.66	4.58	4.05	0.02	0.32	0.13	<0.01	0.88	100.07
Granite	I 13	74.12	14.05	1.578	0.707	0.165	3.893	4.605	0.0367	0.143	0.059	-	1.424	100.778

- Les dacites sont caractérisés par des valeurs en SiO₂ de 65 % à 68,54 %. MgO varie de 0,80 à 1,23 % avec (Mg#) = 28,58 - 41,67; Fe₂O₃ varie de 3,79 à 4,40 %. Al₂O₃ varie de 15,20 à 16,20 % et CaO varie de 1,02 à 3,69 %. Les teneurs en Na₂O varient de 3,90 à 5,88 % ; K₂O varie de 1,21 % à 4,57 % ; MnO varie de 0,05 % à 0,07 %. Les valeurs en TiO₂ sont inférieures à 2 % (0,42 - 0,89 %). En effet, les faibles taux de TiO₂ des roches analysées ressemblent à ceux des roches plutoniques des arcs magmatique ([22]), mais sont différents des basaltes intra-plaques, qui possèdent souvent des taux de TiO₂ élevées (>2 %).
- Les rhyodacites montrent des teneurs en SiO₂ de 67,36 % à 67,86 %. MgO varie de 0,43 à 0,51 % avec (Mg#) = 19,74 - 19,84; Fe₂O₃ entre 3,84 et 4,60 %. Al₂O₃ varie de 14,41 à 14,50 % et CaO varie de 0,81 à 1,32 %. Les teneurs en Na₂O varient de 4,70 à 5,85 % ; K₂O varie de 4,14 % à 3,01 % ; MnO varie de 0,07 % à 0,08 %. Les valeurs en TiO₂ sont inférieures à 2 % (0,80 - 0,88 %).
- Les rhyolites montrent des valeurs en SiO₂ de 70,50 % à 76,00 %. MgO varie de 0,28 à 0,68 % avec (Mg#) = 13,99 - 43,38; Fe₂O₃ varie de 0,82 à 2,96 %. Al₂O₃ varie de 13,00 à 15,42 % et CaO varie de 0,04 à 2 %. Les teneurs en Na₂O varient de 0,16 à 3,81 % ; K₂O varie de 3,97 % à 4,72 % ; MnO varie de 0,01 % à 0,09 %. Les valeurs en TiO₂ sont inférieures à 2 % (0,15 - 0,79 %).
- Les ignimbrites montrent des valeurs en SiO₂ de 75,00 % et en alcalins (Na₂O + K₂O) de 7,60 %. MgO de 0,25 % avec (Mg#) = 20,33 et Fe₂O₃ de 2,13 %. Les teneurs respectives en Al₂O₃ et CaO sont de 11,56 % et de 0,73 %. De très faibles valeurs en MnO (0,05 %) et en TiO₂ (0,18 %) et sont observées.

3.2.1.2. GRANITOÏDES

Les teneurs en SiO₂ et en alcalins (Na₂O+K₂O) donnent aux roches des compositions de granodiorite et granite [23], (**Fig. 6D**) et sont calco-alcalines (**Fig. 6C**). L'ensemble des roches est en général subalcalin; excepté les granites qui montrent un caractère alcalin (**Fig. 6B**).

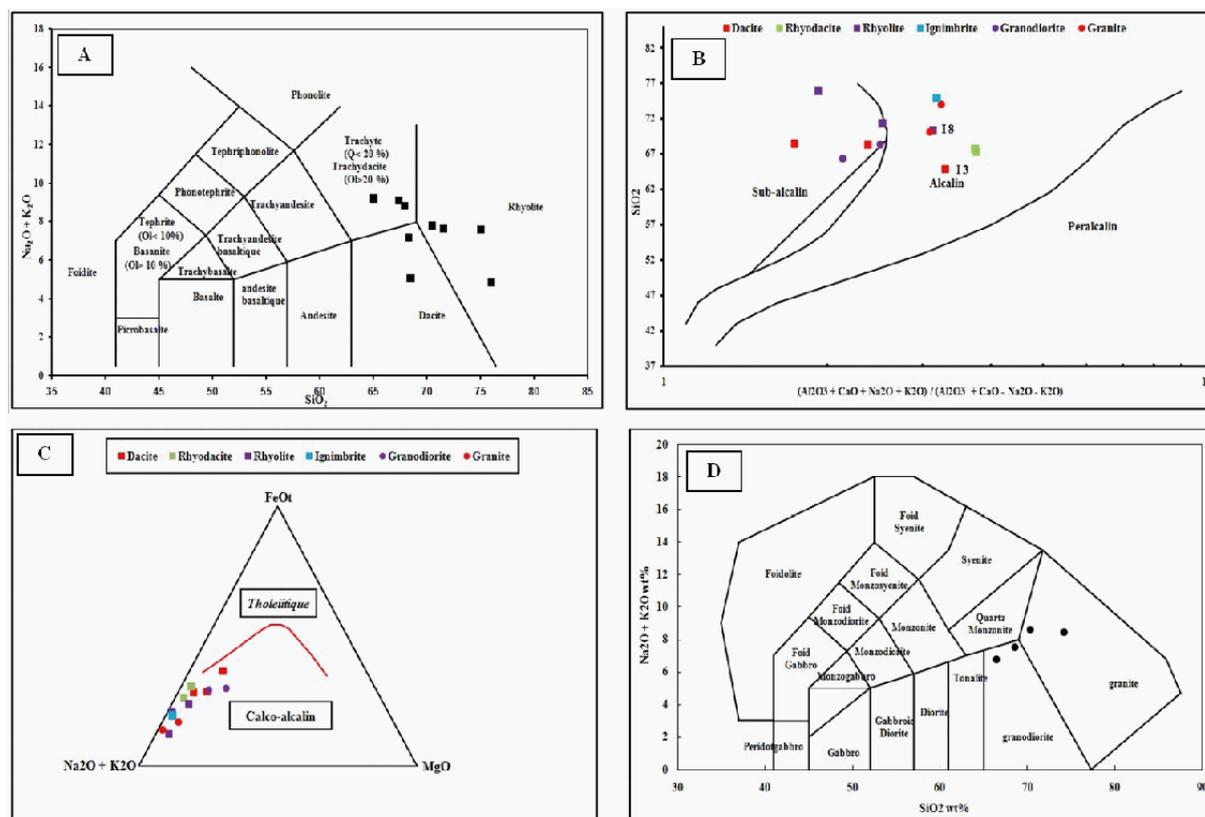


Fig. 6. Diagrammes Appliqués Aux Métavolcanites Felsiques De La Partie Sud Du Sillon De Toumodi-Fètêkro. A) Diagramme De TAS Modifié D'après [19]; B) Diagramme SiO_2 En Fonction De $Na_2O + K_2O$ ([21]); C) Diagramme AFM ([20]); D) Diagramme De Classification De TAS ([23])

- Les granodiorites montrent des teneurs en SiO_2 varie de 66,44 à 68,49 %. MgO varie de 1,33 à 2,09 % avec $(Mg\#) = 41,66 - 51,92$; Fe_2O_3 entre 4,10 et 4,26 %; Al_2O_3 , varie de 14,35 à 15,13 % et CaO varie de 2,72 à 3,69 %. Les teneurs en Na_2O et en K_2O varient respectivement de 3,66 à 4,45 % et de 2,35 à 3,90 %. MnO est de 0,06 % et TiO_2 est inférieur à 0,49 %.
- Les granites sont caractérisés par des teneurs en SiO_2 de 70,27 à 74,12 %. MgO varie de 0,17 à 0,66 % avec $(Mg\#) = 18,71 - 40,66$; Fe_2O_3 est compris entre 1,58 et 2,12 %; Al_2O_3 varie de 14,05 à 15,32 % et CaO varie de 0,71 à 1,60 %. Les teneurs en Na_2O varient de 3,89 à 4,58 %; K_2O est compris entre 4,05 et 4,61 %; MnO inférieur à 0,05 % et TiO_2 inférieur à 0,33%.

3.2.2. ENRICHISSEMENT DE LA SOURCE: POSSIBLE CONTAMINATION CRUSTALE

En effet, les faibles taux de TiO_2 (0,18 - 0,89 %) des roches analysées ressemblent à ceux des roches plutoniques des arcs magmatique (Pearce et Cann, 1973), mais sont différents des basaltes intra-plaques, qui possèdent souvent des taux de TiO_2 élevées (>2 %). Les dacites sont sodiques plutôt que potassiques (Fig. 7A), et se situent généralement dans le champ des TTG archéennes (Fig. 7B), les équivalents plutoniques de dacites et rhyolites archéennes. Ces roches montrent des compositions de trondhjémites, de tonalites et de granites et se situent à l'intérieur de l'enveloppe des TTG archéennes (Fig. 7B). Les granitoïdes sont métalumineux à peralumineux et de type I (Fig. 7C et D). En effet, selon [24], les granitoïdes de type I ont une origine ignée et proviendraient d'une part de la fusion du manteau et d'autre part de la fusion de roches cristallines de la croûte continentale. Ces tendances géochimiques montrent une possibilité de mélange dû à l'existence d'une petite composante hérité archéenne.

4. DISCUSSION

Les roches felsiques de la partie sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fètêkro sont constituées de laves volcaniques (dacites, rhyodacites et rhyolites), et de pyroclastites (ignimbrites) et de granitoïdes (granodiorites et granites). Ces observations ont également été faites par [25] sur les felsites dans la région de Dabakala. En effet, cet auteur a mis en

évidence des épisodes effusif et explosif. Les granitoïdes de la zone d'étude contiennent la microcline. Des comportements géochimiques similaires ont été observés dans les granitoïdes du sillon de Toumodi-Fètêkro ([26]), du gisement de Bonikro ([27]), du bassin de la Comoé ([28]), du sillon de Korhogo ([29]) et ailleurs dans les sillons birimiens. Les roches felsiques de la zone d'étude ont été métamorphosées sous des conditions du faciès des schistes verts. Ces conditions métamorphiques sont similaires avec celles observées par certains auteurs sur des sillons birimiens Ouest-Africains ([27], [30], [31]).

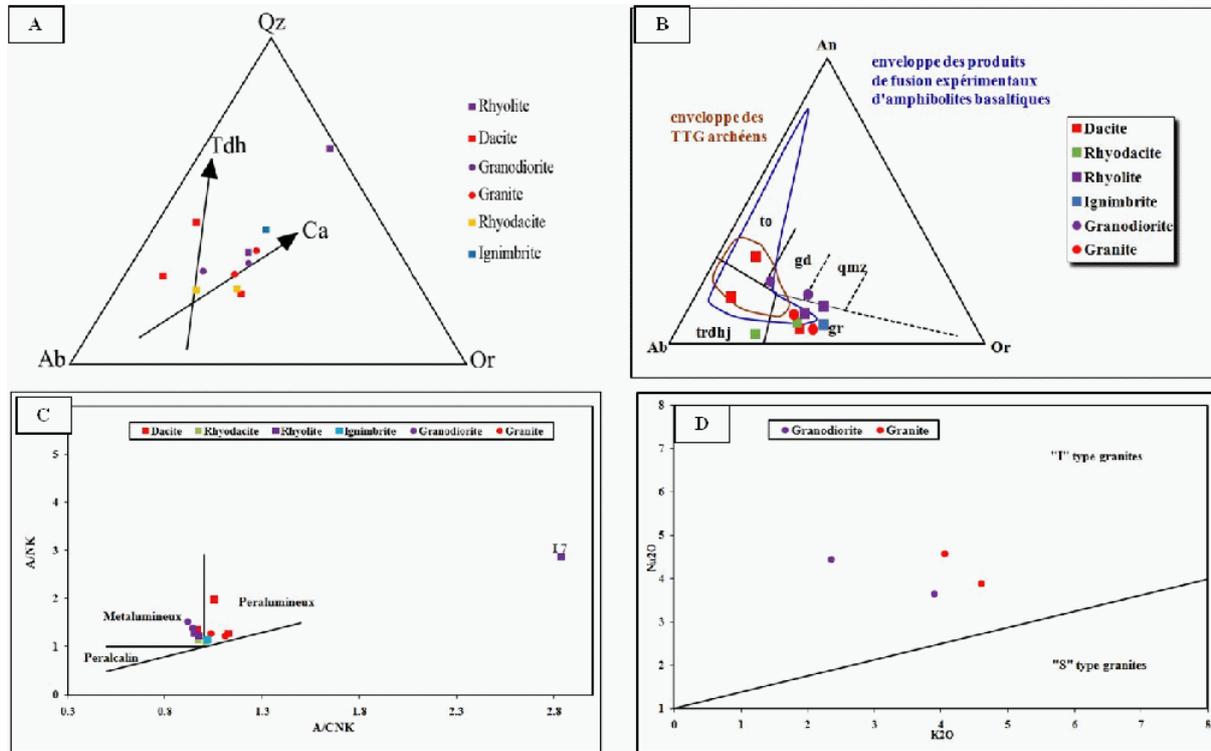


Fig. 7. Diagrammes Appliqués Aux Métavolcanites Felsiques De La Partie Sud Du Sillon De Toumodi-Fètêkro. A) Diagramme Qz-Ab-Or ([32]); B) Diagramme Qz-Ab-Or ([32], [32]); C) Diagramme A/NK En Fonction De A/CNK ([34]); D) Diagramme Na₂O En Fonction De K₂O ([24])

Les données géochimiques indiquent que les métavolcanites felsiques sont généralement subalcalines avec quelques rares échantillons qui sont alcalins. Les granitoïdes sont calco-alcalins, potassiques, et ont des compositions de granodiorites et de granites. Ces caractéristiques sont similaires à celles observées sur le pluton de Dabakala ([35]), sur le gisement de Bonikro ([27]), dans la région de Dabakala ([25]), ainsi qu'ailleurs dans les sillons birimiens.

Les faibles teneurs de TiO₂ (inférieures à 2 %) montrent les roches de la zone d'étude se sont mis en place en contexte d'arcs magmatiques. En effet, selon [22], les échantillons de roches ayant de faibles taux de TiO₂ (<2 %) correspondent aux roches des arcs magmatique, mais sont différents des basaltes intra-plaques, qui possèdent souvent des taux de TiO₂ élevées (>2 %). L'ensemble de ces roches montre un chimisme également métalumineux avec de rares tendances fortement peralumineuses. Les rhyodacites ont des compositions de trondhjémites et de granites tandis les rhyolites montre un chimisme identique à celui des granites. Les rhyodacites et les rhyolites se situent dans le champ des roches archéennes et post-archéennes. En effet, les TTG, composant dominant des provinces archéennes, ont la composition de granitoïdes sodiques. Ces roches montrent des valeurs en éléments ferromagnésiens (Fe₂O₃ +MgO+TiO₂) inférieurs à 5 %. Les teneurs en Al₂O₃ sont élevées (15,36%), ainsi que le rapport élémentaire [Al₂O₃/ (CaO+Na₂O+K₂O)] est compris entre 1 et 1,1 avec un rapport moyen de 1.04. Les TTG présentent de faibles valeurs en CaO et K₂O tandis que les valeurs en Na₂O sont élevées. Ces roches sont également riches en SiO₂. Les dacites du sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fètêkro, équivalent volcanites des granitoïdes sont sodiques et montrent des teneurs en ferromagnésiens (Fe₂O₃ +MgO+TiO₂) comprises entre 5,44 à 6,09 %. Les teneurs en Al₂O₃ et le rapport élémentaire [Al₂O₃/ (CaO+Na₂O+K₂O)] varient respectivement de 15,20 à 16,20% et de 1,55 à 1,73%. Les valeurs en CaO (1,02 à 3,69 %) et K₂O (1,21 à 4,57 %) sont généralement faibles que les valeurs en Na₂O (3,90 à 5,88 %). Ces roches sont également riches en SiO₂ (65 à 68,54 %). Ces caractéristiques sont plus ou moins similaires à celles des TTG archéennes. Aussi, les granitoïdes de la zone d'étude sont de type I. En effet, selon [24], les granitoïdes de type I ont une origine ignée et proviendraient d'une part de la fusion du manteau et d'autre part de la fusion de roches cristallines de la croûte continentale.

Ces observations faites, ont déjà été mises en évidence dans les sillons birimiens ivoiriens ([25]; [27]; [36]; [28]) et ailleurs le craton Ouest-africain ([37], [38]). Les travaux réalisés dans le sillon de Korhogo confirment la présence de l'héritage archéen, par endroits dans les formations juvéniles birimiennes.

5. CONCLUSION

Les roches felsiques de la partie sud du sillon de Toumodi-Fetekro sont constitués de laves volcaniques (dacites, rhyodacites et rhyolites); de pyroclastites représentés essentiellement par les ignimbrites et de granitoïdes (granodiorites et granites). Ces roches ont été affectées par le métamorphisme de faciès schistes verts. Les données géochimiques montrent que ces roches felsiques sont métalumineux à peralumineux, calco-alcalines et ont des caractéristiques des roches des arcs magmatiques. Les dacites sont sodiques et les granitoïdes sont de type I. Ces roches ont des caractéristiques des TTG archéennes. Ces tendances géochimiques montrent une possibilité de mélange dû à l'existence d'une petite composante hérité archéenne.

REFERENCES

- [1] Abouchami W., Boher M., Michard A. Et Albarede F. (1990). A Major 2,1 Ga Event of Mafic Magmatism in West Africa: An Early Stage of Crustal Accretion. *J. Geophys. res.*, 95: 17605-17629.
- [2] Hirdes W., Davis D. W., Ludtke G., & Konan G. (1996). Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanics belts in northeastern Côte d'Ivoire (West-Africa): consequences for the 'Birimian Controversy'. 247-311.
- [3] Lompo M. (2010). Structural evolution of Paleoproterozoic belts (Eburnean event) in the Man-Leo Shield, West African Craton. Key structures for vertical to transcurrent tectonics. *Journal of African Earth Sciences*, 58: 19-36.
- [4] Boher M., Abouchami W., Michard A., Alberede F., Arndt N. (1992). Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. *Journal Geophysical Research* 97: 345-369.
- [5] Kouamelan A. N., Delor C., Peucat J. J. (1997). Geochronological evidence for reworking of Archean terranes during the Early Proterozoic (2.1 Ga) in the western Côte d'Ivoire (Man Rise-West African Craton). *Precambrian Research*, 86: 177-199.
- [6] Hirdes W., Davis D.W. (1998). First U-Pb zircon age of extrusive volcanism in the Birimian Super group of Ghana/West Africa. *Journal of African Earth Sciences* 27: 291-294.
- [7] Gasquet D., Barbey P., Adou M., Paquette J.L. (2003). Structure, Sr-Nd isotope geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire): evidence for a 2.3 Ga crustal growth event in the Palaeoproterozoic of West Africa? *Precambrian Res.* 127: 329-354.
- [8] Pouclet A., Doumbia S., Vidal M. (2006). Geodynamic setting of the Birimian volcanism in central Ivory Coast (western Africa) and its place in the Palaeoproterozoic evolution of the Man Shield. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 177: 105-121.
- [9] Bessoles B. (1977). Géologie de l'Afrique. Vol 1: le Craton Ouest Africain. *Bur. Rech. Géol. Min. Mem.* 88. 402 P.
- [10] Chermette A. 1935. Les filons de quartz aurifère de Hiré (Côte d'Ivoire). Rapport n°200, Gouv. gén. de l'A.O.F., Insp. gén. des P.T., Serv. des Mines, Dakar, septembre 1935.
- [11] Yacé I., 1982. Etude du volcanisme Eburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne Précambrienne de Fetekro. *Direction de la Géologie. Abidjan.* 156 p.
- [12] Lemoine S. (1988). Evolution géologique de la région de Dabakala (NE de la Côte d'Ivoire) au Protérozoïque inférieur. Thèse de Doctorat ès. Sci. Uni. Clermont-Ferrand, 388 p.
- [13] Mortimer J. (1990). Evolution of the early Proterozoic Toumodi Volcanic Group and associated rocks, Ivory Coast. Ph.D. Thesis CNAAP. Portsmouth Plytech. Portsmouth. 244 p.
- [14] Leake M.H. (1992). The petrogenesis and structural history of the northern sector of the Fetekro Greenstone belt, Dabakala region, NE Côte d'Ivoire. Ph.D. Thesis, Uni. Portsmouth, U.K., 315 p.
- [15] Yao D. B., 1998. Lithostratigraphie et Pétrologie des formations birimiennes de Toumodi-Fetekro: Implication pour l'évolution crustale du Paléoproterozoïque du Craton ouest-Africain. Thèse, Uni. Orléan 191 p.
- [16] Debat P., Nikiema S., Mercier A., Lompo M., Beziat D., Bourges F., Roddaz M., Salvi S., Tollon F., Wenmenga U. (2003). A new metamorphic constraint for the Eburnean orogeny from Paleoproterozoic formations of the Man shield (Aribinda and Tampelgacountries, Burkina Faso). *Precambrian Research* 123 (1), p.47-65.
- [17] Milési J.P., Feybesse J.L., Ledru P., Dommangeat A., Ouédraogo M.F., Marcoux E., Prost A.E., Vinchon C., Sylvain J.P., Johan V., Tegye M., Calvez J.Y., Lagny Ph. (1989). Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest. Leur évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur. *Chron. Rech. min., Fr.*, 497: 3-98.
- [18] Yacé I., 1976. Le volcanisme Eburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne Précambrienne de Fetekro Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ Abidjan. 373 p.

- [19] Le Maitre R.W. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms. In: Le Maitre, R.W. (Ed.), Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Sci. Publ, p. 193 pp.
- [20] Irvine T.N., Baragar W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8: 523-548.
- [21] Wright G.A. (1969). Obsidian analysis and prehistoric near eastern trade: 7500-3500 Bc. *Anthropological papers*, n°37, University of Michigan, Ann. Arboc.
- [22] Pearce J.A., Cann J.R. (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19: 290-300.
- [23] Middlemost E. A. (1994). Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, 37, 3: 215-224.
- [24] Chappell B.W., White A.J.R. (1974). Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8: 173-174.
- [25] Gnanzou A. (2014). Etude des séries volcano-sédimentaires de la région de Dabakala (Nord-Est de la Côte d'Ivoire): genèse et évolution magmatique. Contribution à la connaissance de la minéralisation aurifère de Bobosso dans la série de la Haute-Comoé. Thèse de doctorat, Univ. Paris-Sud Orsay, France et Univ. Félix HOUPHOUËT -BOIGNY, 303p.
- [26] Casanova R. (1973). Géochimie et minéralogie des granitoïdes Eburnéens de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences, Université de Nice. 393p.
- [27] Ouattara Z. (2015). Caractères lithostratigraphique, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de Fettekro, centre-sud de la Côte d'Ivoire. Doctorat, Univ. FELIX HOUPHOUËT -BOIGNY, 256 p.
- [28] Teha K.R. (2019). Les Formations Éburnéennes du Sud-ouest du bassin de la Comoé et du secteur de Singrobo (Sud de la Côte d'Ivoire): Pétrologie, Analyse structurale et Magmatisme associé. Doctorat, Univ. FELIX HOUPHOUËT -BOIGNY, 247 p.
- [29] Fofana K., Allialy M. E., Coulibaly I., Teha K. R. (2021). Signature Géochimique des Granitoïdes de la Branche Est du Sillon de Boundiali-Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, ESJ, 17 (34), 223-240.
- [30] Houssou N.N. (2013). Etude pétrologique, structurale et métallogénique du gisement aurifère d'Agbahou, Divo, Côte d'Ivoire. Doctorat, Univ. Félix HOUPHOUËT -BOIGNY, 177p.
- [31] Ouattara A. S., Coulibaly Y., Kouadio F. J-L. H. (2017). Les altérations hydrothermales associées à la minéralisation aurifère du gisement de dougbafla (District d'Oumé-Hiré, Centre-Ouest De La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* October 2017 edition Vol.13, No.30 ISSN: 1857 – 7881.
- [32] Barker F., Arth J. G. (1976). Generation of trondhjemite-tonalitic liquid and Archaean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, 4: 596-600.
- [33] O'Connor J. T. (1965). A Classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 525-B: 1379-1384.
- [34] Shand S.J. (1922). The problem of the alkaline rocks. *Proceedings of the Geological Society of South Africa* 25: 19-33.
- [35] Doumbia S., Pouclet A., Kouamelan A., Peucat J. J., Vidal M. & Vidal M. (1998). Petrogenesis of juvenile-type Birimian (Paleoproterozoic) granitoïdes in Central Côte d'Ivoire, West Africa: geochemistry and geochronology. *Precambrian Research* 87, 33-63.
- [36] Coulibaly I. (2018). Pétrographie des volcanites et plutonites de la partie Sud du sillon volcanosédimentaire de Toumodi-Fétèkro. Thèse Univ. Felix Houphouët-Boigny d'Abidjan. 218p.
- [37] Peucat J.J., Capdevila R., Drareni A., Mahdjoub Y., Kahoui M. (2005). The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt: petrology, geochemistry and geochronology. *Precamb. Res.* 136: 309-352.
- [38] Baratoux L., Metelka V., Naba S., Jessell M.W., Gregoire M., Ganne J. (2011). Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (~2.2-2.0 Ga), western Burkina Faso. *Precambrian Res.* 191: 18-45.

Multi-Criteria Decision Making for energy planning in Democratic Republic of Congo: Case study of Idjwi island

Janvier Kamundala and Raoul Irengé Baguma

Génie Electrique-Informatique, Faculté de Sciences et Technologies Appliquées, Université Libre des Pays des Grands Lacs, Goma, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2022 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: Energy planning involves multiple actors (authorities, community, investors, and operators) and multiple objectives most of the time in perpetual conflict. The Analysis Hierarchy Process (AHP) which consists of a Multi-Criteria Decision Analysis method (MCDA) theory of measurement through pairwise comparisons and relies on the judgments of experts to derive priority scales was used to evaluate the energy resources of Idjwi island in the Democratic Republic of Congo (DRC). The weights obtained from AHP analysis were used to rank the seven alternative energy resources for the island using the Technique of Order Preferences to Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The combination of the two MCDA methods reduces the uncertainty and reinforces the reliability of the decision by combining the advantages of both methods. Two surveys were conducted in this research, one for the rural community in Idjwi, in order to determine their preferences, priority, economic situation for an energy project. The second survey was conducted for the energy experts in the region was to analyze the importance of the criteria. This thesis aims at ranking the different energy resources for rural electrification in the Island. Energy planning in many developing countries is still not well-handled and depends mostly on the priorities of actual authorities. To minimize the risk of investing in wrong sources of energy, energy planning is needed which includes many actors and factors. For example, the exclusion of the local communities in the process of electrification projects can lead to failures of many mini-grid projects in villages. Based on the preferences and priorities of the community, the small hydropower and solar photovoltaic sources were the first alternatives to power Idjwi Island. An assessment of the renewable energy resources of the DRC is also included.

KEYWORDS: Energy planning, AHP, TOPSIS, rural electrification, energy alternatives.

1 INTRODUCTION

Energy access has been proved in the information age to be inevitable to all kind of development. It has also proven that the 17 Sustainable Development Goals are interconnected, many scholars agree that the 7th SDG which consists of access to clean energy for all. It can accelerate the other goals such as education, zero hunger, gender equality.

According to the Energy Access Outlook 2017, 1.1 billion people live without access to electricity although remarkable efforts have been made in the past bringing electricity to 1.2 billion people since 2000. The same report showed still 14% of the world population lives without electricity where 84% are in rural areas [1].

In Sub-Saharan Africa, more than 580 million live without electricity compared to 2000 (510 million) [1]. Tremendous efforts have been made to power African countries, for that decentralized and mini-grids have played a key role in electrification of rural areas where the grid solution is expensive [2].

More than 71 million of Congolese from DRC live without access to electricity, and this represents 12% of the African population [3]. Moreover, according to the national Institute of Statistics (INS), 42 million (60% of the DRC population) of the habitants of DRC living without electricity are living in the rural areas [4].

The Idjwi Island, located in the East of the DRC in the middle of the Kivu lake, has 250 000 habitants living without electricity. Less than 10% of this population own very small Solar Home Systems (SHS) for lighting. A mini-grid is a low voltage electrical grid in which loads, generators and micro sources are operating to supply electricity to rural areas. The mini-grids most of the time use a primary source of renewable energy (solar, hydropower, biogas, biomass, wind, and/or hybrid sources with storage system or diesel generators). These mini-grids can operate autonomously or tied to the main electrical grid [5], [2].

To meet the goals of the initiative of clean energy for all, the 60% of new access to electricity by 2030 will come from renewable energy. Mini-grid using hydro is leading following by solar PV mini-grid technology. The trends need to be scaled up in most African countries [1], [2]. This requires technological, economic solid arguments to attract the investors and advise the policymakers in the national energy plans.

Special attention is required to the mini-grid systems as proved solution to rural communities most of the time with low incomes. Where in another hand the mini-grid imply high investment costs, the high levelized cost of electricity, long payback time, etc. A model including technical, and economic aspects need to be developed from local data collections on existing mini-grids, or in order to design new model.

During the past decades, many countries have deployed projects of mini-grids to assure rural electrification [2]. The viability of such a project differs from one country to another and from a region to another.

DRC has made progress in the liberalization of the Energy sector by promulgating in 2014, the law which regulates the electricity production [6]. This liberalization followed by the work of assessment and mapping of energy resources by experts of the ministry of energy in one document to support investors in their decision in order to achieve sustainable energy for all [3]. An optimum power generation mix for rural electrification has not yet been tapped in the current research in DRC. Many options are offering to the country to power the rural community such as the extension of the national grid of National electricity company (SNEL), the large-scale deployment of mini-grids with multiplies options like solar mini-grids, hydro mini-grids, biomass mini-grids, hybrid systems mini-grids.

An assessment of resources, technological review and economic analysis on Solar, hydro, biogas, and biomass and hybrid systems were undertaken in this study for the Idjwi Island in DRC, two Multi-Criteria Decision-Making methods were selected to choose the best energy alternative for idjwi island.

In many African countries, DRC included have limited resources for proper planning in the domain of energy. Investors and young entrepreneurs lack results for energy planning. In order to meet the agenda 2030 and the objectives of SE4ALL independent researches in the domain of energy planning and optimization power generation systems to assist decision-makers at all levels are crucial.

Moreover, in order not to violate the inclusivity characteristics of the SGDs (*leave nobody behind*), rural electrification is a key sector that has attracted many researchers in power, energy engineering. In addition, in most politically unstable countries such as DRC, the priority for electrification of different regions can be biased by the political appurtenance, regionalism of leaders, etc. Thus, research in energy planning for rural electrification for a sustainable development based on the actual situation and future scenarios is important for both strategic and operational level. The rural community in DRC represent 69,5% in 2005 and 61,1% in 2012 [9], however, the planning and priority are given to urban population leaving a huge amount of the population behind without access to electricity.

The population of DRC is growing fast more than 80 million in 2017 [7]. More than 60% living in rural area [4]. In another hand, the electricity access rate still low it has increased from 6.48% in 2001 to 9% in 2011 [3]. With exception of the capital city with an electrification rate of 59.5%, the provinces have electrification access below 5% (1% as a national average) [3].

This work is structured in the following sections. Section I, present the actual renewable resources of DRC, especially for Idjwi Island. The second section describes the multicriteria decision aids method for selecting the suitable energy alternative for Idjwi Island, the MCDM hybrid method using the AHP to determine the weights of the criteria to use in the TOPSIS method [8]. The last section presents the results from the two MCDM methods used with preferences of experts for electrification of Idjwi Island as an example of the testing the robustness of the framework methodology used in the research.

2 METHODOLOGY

In order to address the problem of this research and to meet its objectives the following steps were undertaken

- Data Collection and Data Analysis: Through surveys, interviews, workshops onsite at Idjwi Island, Data was collected to determine the profile load of Idjwi Island, community criteria priority and experts' prioritization of different criteria of selection of the best option among different alternatives of primary energy source.
- Among the Multi-criteria Decision-Making Methods, two methods AHP and TOPSIS were selected for raking of different options of rural electrification of Idjwi Island.
- The results from the previous analyses were used to make a recommendation on the future energy projects at Idjwi Island.

Technical assessment of different aspects of the energy sector in Idjwi was analyzed. This assessment implied costs and labors intervention such as guides, local community involvement, group discussions and workshops.

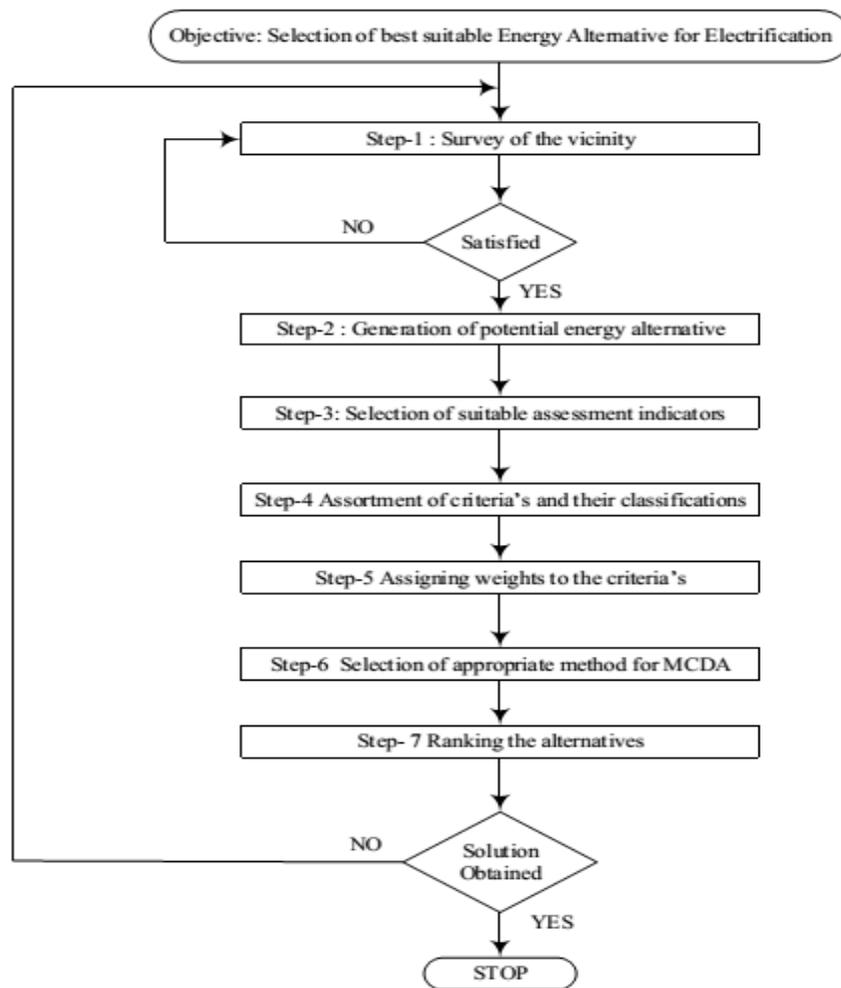


Fig. 1. Methodological Framework for selection of energy alternative

To achieve the objectives of this research, selection of suitable energy alternative for powering Idjwi Island, the following steps were used as developed by Kumar et al. in [10], [11]. As illustrated in the figure 1, the generalized framework for selecting a suitable and reliable rural energy source for developing countries. From the results of two surveys, one for the rural community and another one for experts in the energy sector, we used this methodological framework of seven different steps as shown in the figure 1 to meet the objective of selecting a suitable solution for energy projects in Idjwi. Step 1 is a series of survey to determine the preferences of local community and experts. This was done using surveys. Step 2 of generation of potential energy alternatives of available energy resources of Idjwi. Step 3 is based on the results of the step 1 in order to fix criteria based on judgement and views of decision-makers and experts. This was done using another survey to specify which criteria and sub-criteria to use for evaluation of the different alternatives. The following step was handling by AHP method in order to assign weight to different criteria and sub-criteria. This process reported in the section of results and discuss for every criteria and sub-criteria. The last step ranked the different alternatives using TOPSIS method. This step used the available data from Idjwi and in the literature to analyse the different alternatives to power Idjwi.

2.1 SURVEY DESIGN

A door to door survey of a targeted 67 households with a questionnaire was carried out in the rural community of Idjwi. A set of meetings and workshops were also conducted with local authorities, academics, experts in the energy sector of the region. The purpose of these initiatives during this research was based on the recommendations of similar researches [10] in the same domains in order to convince the local community to be part of an electrification project of the Island. More objectives were to:

1. Understand the community's support towards the energy project
2. The energy demand assessment of the Idjwi Island
3. The financial situation of the community to get the average income of a household per month to pay for the electricity bill
4. Evaluate the availability of the resources which can be utilized and possible sites for implementing the project

Another survey was distributed to the experts in the energy sector in order to select different criteria and sub-criteria to use in the AHP and TOPSIS methods. This survey was also conducted to question the preferences of the experts on the criteria considering the social and economic situation of the inhabitants of Idjwi.

Energy planning is a field that involves many aspects, actors and multiple attributes both qualitative and quantitative which cannot evaluate by a single-phase evaluation indicator such as Cost to Benefit Analysis (CBA) or Net Present Value (NPV). Planning in energy technologies involves a multidimensional problem with multiple objectives and many traits [11], [8], [12]. This involvement of multiple stakeholders, benchmarks, and more energy alternatives (renewable and non-renewable) sources in rural electrification system has made the design process more complex. Various MCDM models have been developed for energy planning for electrification purpose to reach sustainability. A detailed review of such models and their application has been elaborated by authors as reported above in the literature review of this thesis and in [13]. Scientific methods such as MCDM which involve the evaluation of both qualitative and quantitative attributes to rank different types of energy resources over a long period (time) dimensions have become popular [8]. Many actors including groups of people in the local community, institutions and administration authorities, potential investors, academic institutions, environmental agencies are stakeholders in MCDM and define the main criteria to be considered.

This study involved four criteria proposed by the experts in the energy sector with carefully selected sub-criteria (both qualitative and quantitative) under different dimension units to facilitate the ranking of energy technologies in Republic Democratic of Congo through MCDM techniques. Researchers have recommended to combine or compare two methods in order to reduce uncertainty and to increase the reliability of the methods [14]. That is the reason why AHP was used in order to determine different weights of the criteria and sub-criteria. It was followed by a TOPSIS method for evaluating the best solution to power Idjwi Island. Figure 2 indicates different steps that were taken during this thesis by developing a hybrid method of Multi-criteria decision making AHP-TOPSIS to rank different alternatives for energy resources.

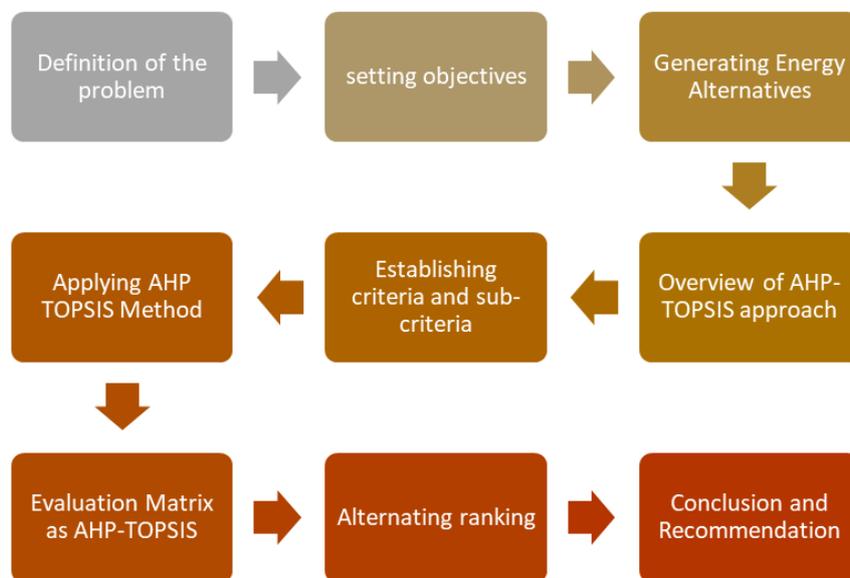


Fig. 2. A proposed methodology using AHP-TOPSIS in MCDM for DRC

2.2 OVERVIEW OF AHP-TOPSIS APPROACH

The aim of selecting the AHP-TOPSIS method is because AHP determines the weights of the criteria, and the alternatives are ranked using TOPSIS [15]. AHP-TOPSIS methods follows the following procedures as explained by the number of researches conducted in Multicriteria Decision Making Method [16], [10], [17], [18]. “The main weaknesses of TOPSIS are that it does not deliver for weight elicitation, and consistency checking for judgments; on the other hand, the use of AHP has been significantly restrained by the human capacity for the information process” [18].

2.2.1 AHP METHOD

AHP involves the decision architects to provide judgments and specify preferences on the relative importance of each criterion and each alternative considering all criteria. In AHP, the problem is created as a hierarchy breaking down the decision top to bottom. “The goal is at the top level, criteria and sub-criteria are in middle levels, and the alternatives are at the bottom layer of the hierarchy [19]. The following are the essential steps to be followed in AHP model:

2.2.1.1 CONSTRUCT A COMPARISON MATRIX

Construct a matrix from a pairwise comparison of criteria using a well-defined scale of relative importance as proposed by Saaty in table 1 [20]. The scale presented was proposed and its effectiveness has been approved by numerous scholars. Obtained pairs of criteria A_i and A_j are represented by an $n \times n$ single-value comparison matrix A :

$$A = a_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Where, a_{ij} is the relative importance of criteria A_i and A_j [19].

Table 1. The fundamental scale of absolute numbers [20]

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak or slight	
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one activity over another
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favored very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
Reciprocals of above	If activity i has one of the above non-zero numbers assigned to it when compared with activity j , then j has the reciprocal value when compared with i	A reasonable assumption
1.1-1.9	If the activities are very close	May be difficult to assign the best value but when compared with other contrasting activities the size of the small numbers would not be too noticeable, yet they can still indicate the relative importance of the activities

2.2.1.2 CALCULATE THE IMPORTANCE DEGREE OF EACH ELEMENT

Set priorities for criteria, a numerical value must be assigned to all criteria according to the preferences of the DM.

The weighting vector of a specific element k can be calculated through the following Equation:

$$W_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(a_{kj} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

Where, a_{ij} is the entry of row i and column j in a comparison matrix of order n , and W_k is the weighting vector of a specific element k in the pairwise comparison matrix.

2.2.1.3 CONSISTENCY TEST

Check the consistency of the matrix before the results. The comparisons is considered reasonable only if the consistency ratio is equal to or less than 0.10 [21], [22], [23]. An approximation of the ratio can be obtained using the following equation;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

While

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Where CR is the consistency ratio, RI is the random index, λ_{max} is the maximum weighting value of an $n \times n$ comparison matrix. shows the random Index value for different matrices sizes as identified by Daim, Oliver and Kim [19].

Table 2. Average Random Index (RI) values [19]

Matrix size (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.2.2 TOPSIS METHOD

TOPSIS refers to Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution, this method considers three types of attributes or criteria which are; Qualitative benefit attributes or criteria, quantitative benefit attributes and Cost attributes or criteria. The key idea of TOPSIS is to assess the alternatives by concurrently measuring how far are they from the Positive Ideal Solution (PIS) and to the Negative Ideal Solution (NIS) i.e. through distance measure [25], [24]. TOPSIS assumes that we have m alternatives (options) and n attributes/criteria and we have the score of each option with respect to each criterion. Let x_{ij} be the score of option i with respect to criterion j, we have a matrix $X = (x_{ij})$, $m \times n$ matrix. Let J be the set of benefit attributes or criteria (more is better) and let J' be the set of negative attributes or criteria (less is better). The following are the procedures to be followed when performing TOPSIS.

The matrix X that consists of the original information is shown as equation (4).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2.2.1 CONSTRUCT NORMALIZED DECISION MATRIX.

This step aims at transforming various attribute dimensions into dimensionless attributes to allow comparisons across criteria from different sources. This is carried out as follows where r_{ij} are the normalized values;

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{(\sum X_{ij}^2)}} \quad (5)$$

For $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$.

2.2.2.2 CONSTRUCT THE WEIGHTED NORMALIZED DECISION MATRIX.

Assume we have a set of weights for each criteria w_j for $j = 1, \dots, n$. Multiply each column of the normalized decision matrix by its associated weight.

An element of the new matrix is:

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad (6)$$

2.2.2.3 DETERMINE THE IDEAL AND NEGATIVE IDEAL SOLUTIONS.

Assume J the set of benefit attributes or criteria more is better and let J' be the set of cost attributes or criteria less is better.

Positive Ideal solution

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} \quad (7)$$

Where

$$v_i^+ = \left\{ \max_i (v_{ij}) \text{ if } j \in J; \min_i (v_{ij}) \text{ if } j \in J' \right\}$$

Negative ideal solution

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \quad (8)$$

Where

$$v_i^- = \left\{ \min (v_{ij}) \text{ if } j \in J; \max (v_{ij}) \text{ if } j \in J' \right\}$$

2.2.2.4 CALCULATE THE SEPARATION MEASURES FOR EACH ALTERNATIVE.

The separation from the ideal alternative is

$$S_i^+ = \left[\sum_i (v_j^+ - v_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

$i = 1, \dots, m$

Similarly, the separation from the negative ideal alternative is:

$$S_i^- = \left[\sum_i (v_j^- - v_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

$i = 1, \dots, m$

2.2.2.5 CALCULATE THE RELATIVE CLOSENESS TO THE IDEAL SOLUTION C_i

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad (11)$$

Whereby $0 < C_i < 1$. Select the option with C_i closest to 1

The best option among the alternatives is the one with the highest value of C_i .

3 RESULTS ANALYSIS AND DISCUSSION

3.1 WEIGHTS OF CRITERIA

The AHP method was first used to determine the weights of all criteria and sub-criteria established by the results of the surveys, interviews, meetings and workshops. The main reasons for selecting AHP was its simplicity, flexibility and its ability to handle both quantitative and qualitative criteria in the same framework [26].

The scenario considered in this work comes from the survey’s results and is presented as follows

- Social criteria were the most important in the four criteria considered because the community is living in a condition of extreme poverty with an average of one America Dollar per day. For this reason, in the scale of pairwise comparison proposed by Saaty [27],
- The technical criteria come after the social criteria because for the sustainability of the project, a trained team for maintenance and operating the micro-grid.
- The economic and environmental criteria follow to have the scenario below:

Social Criteria > Technical Criteria > Economic Criteria > Environmental Criteria

Table 3 reports the different weights of main criteria, with Social representing 52.56%, Technical 27.28%, Economic 12.42% and Environmental 7.73%.

An excel sheet was developed following step by step of the AHP method as described previously using equations (1), (2) and (3) respectively to calculate weights of criteria, checking the consistency of the matrix of decision.

Table 3. Pairwise comparison of criteria and their weights

	Technical	Environmental	Economic	Social	Weights
Technical	1	4	3	1/5	27.28%
Environmental	1/4	1	1/2	1/9	7.73%
Economic	1/3	2	1	1/7	12.42%
Social	3	5	4	1	52.56%

3.2 SUB-CRITERIA WEIGHTS

A compilation of all 17 sub-criteria weights used in this work is given in the figure below:

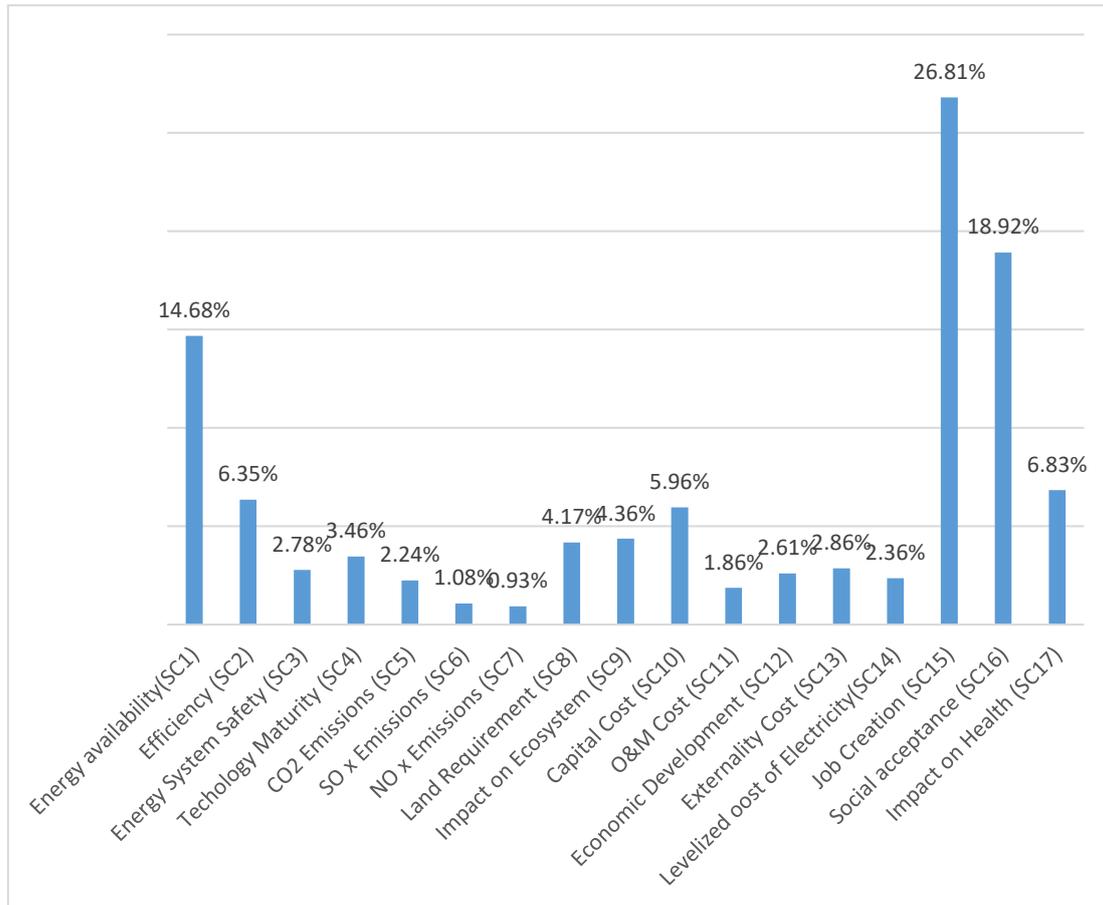


Fig. 3. Weights of the sub-criteria

3.3 DISCUSSION OF THE RESULTS

The energy planning was done on the surveys’ results from the local community, experts in energy field, local authorities, NGO of the region. Out of these surveys, social criteria were highly weighted compare to other criteria such as technical, economic and environment. The respondents consulted showed the importance of job creation for rural community by an electrification project and the acceptance of the community of any project as their priority. Another aspect was the land requirement for the project, and the survey shows that land is essential for the villagers, thus a good source of energy which requires less land for implementation was the most welcome.

The MCDM hybrid method AHP and TOPSIS were used to evaluate the suitable energy resource to power Idjwi Island in this study.

The seven energy alternatives (Solar PV, Small Hydro Power Plant, Biomass, Geothermal, Diesel and Natural Gas) were compared through a TOPSIS method, concerning each of the 17 established criteria grouped in 4 main criteria (technical, economic, social, environmental).

The weights obtained by the AHP method according to the experts’ choices and preferences. The two first places of relevance were for Small Hydro mini-grid and Solar PV energy. This result shows how renewable energies can meet the energy needs of Idjwi Island and improve the social life of the community.

The third and fourth preference was alternated between Diesel and Natural Gas as illustrated in the table 4. From this result, we can confirm that for the case of Idjwi, Diesel Generator can be used as back up in combination with Hydro or Solar PV in order to meet the peak demand of the island.

The natural gas in the Kivu lake seems to be an alternative that can be exploited and remaining in the preferences of the local community.

Table 4. Raking of different energy alternatives from TOPSIS calculation

	Si+	Si-	Ci	Rank
Solar PV	0.098	0.109	0.5259	2
Small Hydro	0.089	0.1048	0.5395	1
Biomass	0.104	0.06088	0.3689	5
Wind	0.11	0.04983	0.3115	7
Geothermal	0.122	0.06112	0.33706	6
Diesel	0.9388	0.10069	0.5174	3
Natural Gas	0.077	0.07705	0.5078	4

Energy projects accompanied by sophisticated technologies and promise affordable electricity even tend to fail many times, due to ignorance or less importance of social factors. For that, the methodology used in this study can assist decision-makers in the policy sector, investors, and energy's project developers of the country to properly plan for future energy project for rural electrification.

4 CONCLUSION

Based on the available energy resources of the Idjwi island in the Democratic Republic of Congo, this study has been devoted to select the best source of energy to electrify the Idjwi Island. A step by step methodological framework for selecting energy alternative was formulated in this work using two Multi-Criteria Decision-Making methods. To meet the objectives of this study, the Analysis Hierarchy Process (AHP) was used to weight all the 17 criteria maintained for the analysis of the problems. According to the preferences of the community and the experts, the social criteria such as Job creation and social acceptance were highly weighted respectively 26.8% and 19.8%. All weights of criteria obtained were used on the Technique of Order Preferences by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) to rank the seven alternatives of available energy resources on the Idjwi island (Solar PV, Small hydro, Biomass, Geothermal, Wind, Diesel and Natural Gas). One scenario was developed which consist of the fact that Social aspects of the project were the priority followed by technical, economic and environmental aspects meet sustainability of any energy project at Idjwi. Throughout of this research, the small hydropower plant system and solar photovoltaic were ranked the two first alternatives in which investment could meet the need and the preferences of the local community of Idjwi. The small hydro has a closeness parameter to an ideal solution of 0.5395 and solar PV of 0.5259. They were followed by the Diesel and Methane Gas projects as third and fourth preferences to power the Island, the biomass, Geothermal and wind were the last on the list according to the scenario developed. These results clarify which type of hybrid system can be developed on the Island to power the Island. The results proved that the Democratic Republic of Congo which has huge amount of energy resources is facing a situation of energy poverty in the rural areas and a good energy planning involving the local community can reinforce the ownership of the project by the community and assure its sustainability. Energy projects accompanied by sophisticated technologies and promise affordable electricity even tend to fail many times, due to ignorance or less importance of social factors. For that, the methodology used in this study can assist decision-makers in the policy sector, investors, and energy's project developers of the country to properly plan for future energy project for rural electrification. Further research can be oriented on the sizing of the energy mini-grid systems based on the results of this project to meet the energy needs of the local community. This mini-grid can be either hybrid systems such as Small Hydropower system combined to Solar Photovoltaic with a back-up of Diesel Generator for peak loads. A comparison of more than one scenario can reinforce the reliability of the methodological framework. In this regard, further research should consider multiple scenarios.

REFERENCES

- [1] IEA, "Energy Access Outlook," IEA Publications, Paris, 2017.
- [2] IRENA, "Policies and Regulations for Renewable Energy Minigrids," IRENA, Abu Dhabi, 2018.
- [3] MRHE, "Atlas des énergies renouvelables," MRHE, Kinshasa, 2014.
- [4] INS, "Annuaire Statistique 2014," INS, Kinshasa, 2015.
- [5] N. Hatziargyriou, *Microgrids Architectures and Control*, Noida: John Willey, 2014.
- [6] Journal Officiel de la RDC, "Loi N° 14/011 du 17 Juin 2014 relative à l'Electricité," Journal Officiel de la RDC, Kinshasa, 2014.
- [7] The World Bank, "The World Bank Data," 2018. [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/country/>. [Accessed 14 12 2018].
- [8] H. Al Garni, A. Kassem, A. Awasthi, D. Komljenovic and K. Al-Haddad, "A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, p. 137–150, 2016.
- [9] MPRM, "Annuaire Statistique 2014," INS, Kinshasa, July 2015.
- [10] A. Kumar, X. He, Y. Deng and P. Kumar, "A Multi Criteria Decision Based Rural Electrification System," in *IECON 2016- 42nd Annual conference of the IEEE industrial Electronics Society*, 2016.
- [11] A. Kumar, A. R. Singh, Y. Deng, X. He, P. Kumar and R. C. Bansal, "A Novel Methodological Framework for the Design of Sustainable Rural Migrogrid for Developing Nations," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 24925-52, 2018.

- [12] A. Bhardwaj, M. Joshi, R. Khosla and N. K. Dubash, "More priorities, more problems? Decision-making with multiple energy development and climate objectives," *Energy Research & Social Science*, no. 49, pp. 143-157, 2019.
- [13] A. Kumar, B. Sah, A. R. Singh, Y. Deng, X. He, P. Kumar and R. C. Bansal, "A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 69, pp. 596-609, 2017.
- [14] P. A. Trotter, M. C. McManus and R. Maconachie, "Electricity planning and implementation in sub-Saharan Africa: A systematic review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 74, pp. 1189-1209, 2017.
- [15] A. Afsordegan, M. Sánchez, N. Agell, S. Zahedi and L. V. Cremades, "Decision Making under uncertainty using a qualitative TOPSIS Method for selecting Energy Alternatives," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 1419-1432, 2016.
- [16] C. Wan, X. Yan, D. Zhang, J. Shi and S. Fu, "Facilitating AHP-TOPSIS Method for reliability Analysis of a Marine LNG Diesel Dual Engine," *International Journal of Performability Engineering*, vol. 5, no. 10, pp. 101-114, 2014.
- [17] H.-C. Lee and C.-T. Chang, "Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 883-896, 2018.
- [18] E. Roszkowska, "Multi-criteria decision-making models by applying the TOPSIS method to CRISP and interval data," *Multiple Criteria Decision Making* 10-11, pp. 199-229, 2011.
- [19] T. Daim, T. Oliver and J. Kim, *Research and Technology Management in the Electricity Industry: Methods, Tools and Case Studies*, London: Springer Link, 2013.
- [20] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83-99, 2008.
- [21] I. Siksnyte, E. K. Zavadskas, D. Streimikiene and D. Sharma, "An Overview of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Dealing with Sustainable Energy Development Issues," *Energies*, vol. 11, no. 10, 2018.
- [22] M. Velasquez and P. T. Hester, "An Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods," *International Journal of Operations Research*, vol. 10, no. 2, pp. 56-66, 2013.
- [23] C. Wimmer, G. Hejazi, E. d. O. Fernandes, C. Moreira and S. Connors, "Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands," *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 185-99, 2015.
- [24] M. D. Soufi, B. Ghobadian, G. Najafi, M. R. Sabzimalaki and T. Yusaf, "TOPSIS Multi-Criteria Decision Modeling Approach for Biolubricant Selection for Two-Stroke Petrol Engines," *Energies*, vol. 8, no. 12, pp. 13960-13970, 2015.
- [25] A. Z. Sarraf, A. Mohaghar and H. Bazargani, "Developing TOPSIS method using statistical normalization for selecting knowledge management strategies," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 6, no. 4, 2013.
- [26] E. Loken, "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems," *renewable & Sustainable energy Reviews*, no. 11, pp. 1584-95, 2007.
- [27] T. L. Saaty, "Decision Making - The analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)," *Journal of systems science and systems engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 1-35, 2004.

Contamination bactérienne des surfaces et équipements aux services de réanimation et unités de soins intensifs: Quel rôle pour l'équipe en prévention and contrôle des infections (PCI) ?

[Bacterial contamination of surfaces and equipment in intensive care units: What is the role of the infection prevention and control (IPC) team?]

Mounir Arai¹⁻², M. El Feniche³, M. Ouhadous², H. Laajane⁴, L. Barrou⁵, and K. Zerouali⁶⁻⁷

¹Faculté de médecine et de pharmacie, Université Hassan II - Casablanca, Morocco

²Service d'Hygiène Hospitalière-CLIN, CHU IBN Rochd, Casablanca, Morocco

³Faculté de médecine et de pharmacie de Rabat, Université Mohammed V de Rabat, Morocco

⁴Hassan II Université of Casablanca, Morocco

⁵Réanimation chirurgicale, CHU IBN Rochd, Casablanca, Morocco

⁶Laboratoire de microbiologie, Faculté de médecine et de pharmacie, Université Hassan II - Casablanca, Morocco

⁷Laboratoire de microbiologie, Centre hospitalier universitaire Ibn Rochd, Casablanca, Morocco

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Introduction:* Microbiological control of the environment in intensive care units is an integral part of the prevention of nosocomial infections and the control of outbreaks involving multidrug-resistant bacteria (MDR). The infection prevention and control team is at the heart of this approach. Particular concerns are the maintenance of a safe and hygienic care environment, and the minimization of microbial contamination of surfaces and equipment.

The objective of our work was to determine the team's approach to the management of environment-related infections in intensive care units, to determine the bacterial ecology of these units, to specify the most contaminated sites and to present preventive and corrective actions.

Method: A quantitative and qualitative study of the microbiological control of the environment was carried out between January 2018 and December 2020 at the level of intensive care units (ICU), and described the pre, per and post-microbiological processes applied to the hospital environment.

Results: Of 350 samples collected, 33% were positive. The overall distribution of multidrug-resistant bacteria (MDR) isolated showed a predominance of gram-negative bacilli (GNB). The hygienists were responsible for the development and implementation of an environmental risk prevention plan including surveillance, prevention, training and evaluation.

Conclusion: Our results showed that equipment and surfaces in intensive care units were heavily contaminated with multi-resistant bacteria. The control of this risk must be implemented through a multimodal strategy, with the intervention of a team specialized in the field.

KEYWORDS: Contamination, environment, intensive care unit, infection prevention, control team.

RESUME: Introduction: Le contrôle microbiologique de l'environnement dans les services de réanimation fait partie intégrante de la prévention des infections nosocomiales et du contrôle des épidémies impliquant des bactéries multirésistantes (BMR). L'équipe en prévention et contrôle des infections est au cœur de cette démarche. Les préoccupations particulières sont le maintien d'un environnement de soins sûr et hygiénique, et la minimisation de la contamination microbienne des surfaces et des équipements.

Objectif de notre travail était de déterminer la démarche de l'équipe dans la gestion des infections liées à l'environnement dans les services de réanimation, déterminer l'écologie bactérienne de ces services, préciser les sites les plus contaminés et présenter les actions préventives et correctives.

Méthode: C'est une étude quantitative et qualitative du contrôle microbiologique de l'environnement a été réalisée entre janvier 2018 et décembre 2020 au niveau des unités de réanimation et de soins intensifs (USI), et a décrit les processus pré, per et post-microbiologiques appliqués à l'environnement hospitalier.

Résultats: Sur les 350 échantillons prélevés, 33% étaient positifs. La distribution globale des bactéries multirésistantes (BMR) isolées a montré une prédominance des bacilles à Gram négatif (GNB). Les hygiénistes étaient responsables de l'élaboration et de la mise en œuvre de plan de prévention des risques environnementaux comprenant la surveillance, la prévention, la formation et l'évaluation.

Conclusion: Nos résultats ont montré que le matériel et les surfaces des unités de soins intensifs étaient fortement contaminés par les bactéries multi résistantes. La maîtrise de ce risque, doit être mise en œuvre grâce à une stratégie multimodale, avec intervention d'une équipe spécialisée dans le domaine.

MOTS-CLEFS: Contamination, Environnement, Unité de soins intensifs, Equipe en prévention, contrôle des infections.

1. INTRODUCTION

Les infections nosocomiales sont particulièrement fréquentes chez les malades hospitalisés en réanimation comparativement aux autres secteurs de soins [1], [2]. Une cause majeure de décès en raison à la fois de la gravité de leur état et des nombreux dispositifs invasifs nécessaires à leur prise en charge [3], [4], [5], [6], [7].

En réanimation, les patients sont exposés à de nombreux réservoirs, des niches écologiques dans lesquels les micro-organismes (BMR) persistent et constituent une source de dissémination. [8], [9], [10].

Les divers appareillages diagnostiques, thérapeutiques et le mobilier utilisé constituent l'un de ces réservoirs microbiens susceptibles de contaminer les personnes hospitalisées directement ou indirectement par l'intermédiaire des dispositifs médicaux ou des mains du personnel soignant, c'est un relais dans la transmission croisée notamment pour les bactéries à Gram positif [11], [12], [13], [14]. De plus, les chambres de malades sont encombrées par les équipements de surveillance et de réanimation cardio-respiratoire, avec de nombreux sites tactiles, nécessitant procédures de nettoyage spécifiques [15].

La maîtrise microbiologique de l'environnement dans ces services donc est très importante, elle s'intègre dans l'actualité de la prévention des infections nosocomiales et de contrôle des épidémies impliquant des bactéries environnementales. Elle repose essentiellement sur la veille, surveillance microbiologique la détermination de l'écologie microbienne du service et la mise en place des actions préventives et correctives [16], [17], [18], [19].

L'équipe en prévention des IAS est au cœur de cette démarche de maîtrise, L'une de ses préoccupations est le maintien d'un environnement sûr, propre et hygiénique, et la minimisation de la contamination microbienne des surfaces et du matériel du milieu de soins [20], [21], [22], [23].

Notre étude s'inscrit dans ce cadre dont l'objectif était de déterminer la démarche de la gestion des infections liées à l'environnement dans les services de réanimation, déterminer l'écologie bactérienne de ces services, préciser les sites les plus contaminés et présenter les actions préventives et correctives.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. CADRE D'ÉTUDE

C'est une étude qualitative et quantitative de contrôle microbiologique a été réalisée sur une période de premier (janvier 2018) au (31 Décembre 2020) au niveau des différents services de réanimation et d'unités de soins intensifs dans un centre hospitalier universitaire.

Les prélèvements ont été effectués dans toutes les unités de soins intensifs de l'hôpital, les différentes spécialités de réanimation ont été représentées: Polyvalente, médicale, chirurgicale, maternité, grands brûlés, pédiatrique et néonatale.

2.2. DÉMARCHE ET INTERVENTION DE L'ÉQUIPE

L'équipe en prévention et contrôle d'infection est une équipe permanente composée de deux cadres infirmiers hygiénistes, 6 techniciens bios hygiénistes, 2 médecins et une assistante de direction.

La démarche d'intervention réside essentiellement dans la phase pré et post analytique (Fig. 1)

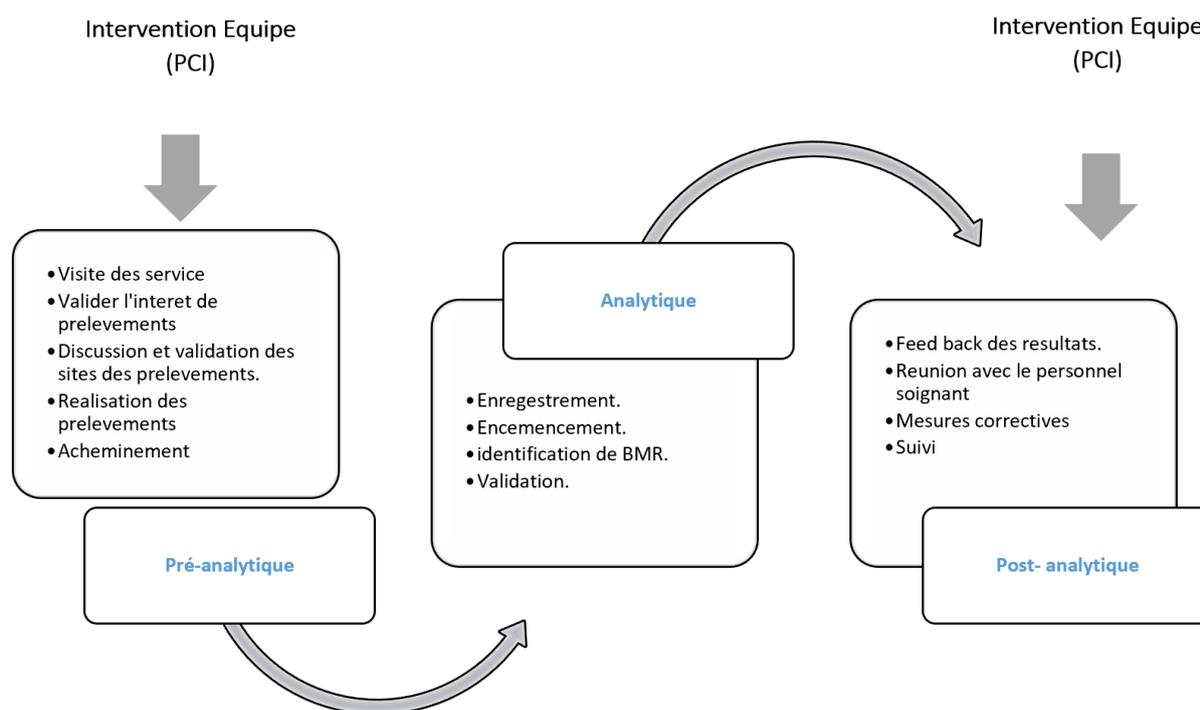


Fig. 1. Démarche d'intervention de l'équipe PCI

2.3. MATÉRIEL DE PRÉLÈVEMENT

L'équipe procède à la vérification systématique selon la check-list le matériel de prélèvement des surfaces, d'habitude il est composé de: permanent marker, Ecouvillons standards en coton hydrophile stériles, solution hydroalcoolique, Lingettes détergentes-désinfectantes, Milieu TCS (Trypto Caseine Soja), Sacs de transport Isothermes et fiche de collecte des données.

2.4. POINTS DE PRÉLÈVEMENT

Après la visite du service et analyse de l'existant (type, nature de l'infection, caractère épidémique...) l'infirmier hygiéniste explique au personnel soignant l'intérêt des prélèvements bactériologiques.

Les différents prélèvements ont été effectués soit à la demande des services cliniques ou suite à une épidémie d'IAS ou bien à la demande du Laboratoire de bactériologie après isolement de bactéries multirésistantes à partir du même service et présentant un profil de résistance aux antibiotiques similaire.

Les points de prélèvement ne sont ni standards ni systématiques, chaque situation est unique et doit être étudiée dans son contexte propre. L'infirmier hygiéniste à l'aide d'une grille [Annexe A] analyse les points avec soin et rigueur en tenant compte deux critères essentiels:

Les sites les plus proches des patients, les objets les plus communément manipulés par le personnel soignant (Scope, respirateur, SAP lit tables...), et bien évidemment selon la nature de problème rencontré au service, si l'épidémie touche plus

précisément le site bronchique et pulmonaire, les prélèvements seront orientés vers le matériel de surveillance et la ventilation artificielle invasive ou non invasive.

Une discussion des sites choisis avec l'équipe soignante est primordiale pour valider les informations et également pour les impliquer dans le plan d'amélioration.

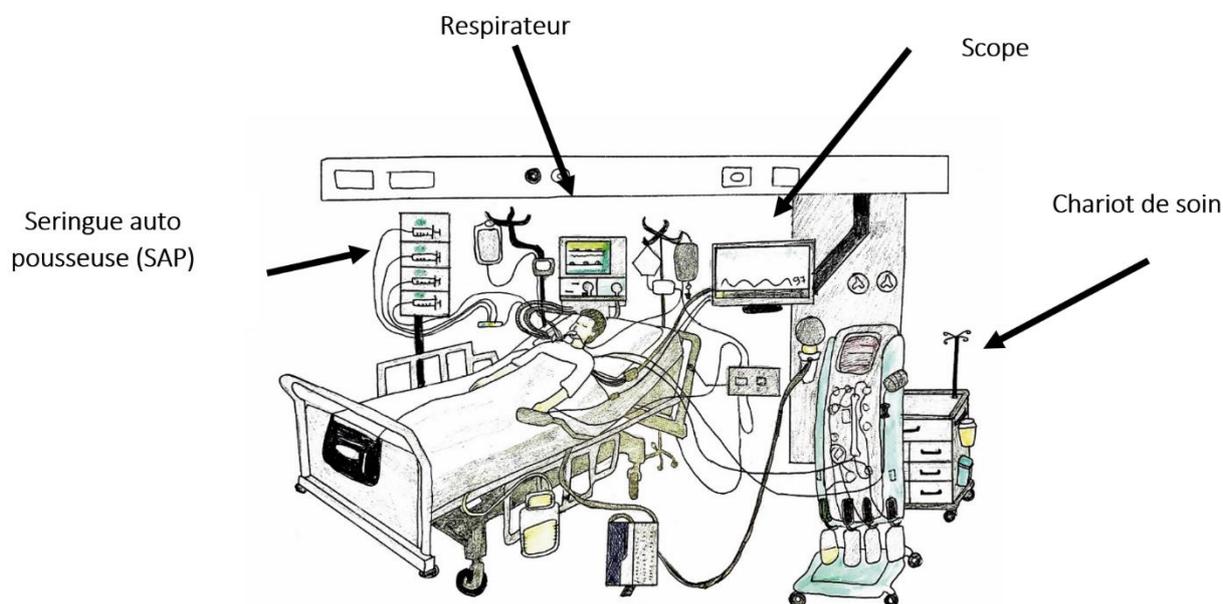


Fig. 2. Principaux points de prélèvements

2.5. TECHNIQUE

Les prélèvements ont été effectués par des infirmiers spécialisés dans la prévention du risque infectieux selon le protocole de service. La technique réalisée est d'écouvillonnage, qui consiste à frotter un écouvillon stérile et humidifié par le bouillon Brain Heart Infusion (BHI) sur une zone définie. Par la suite les écouvillons sont transmis au laboratoire dans leurs étuis protecteurs le plus rapidement possible dans des conditions qui n'altèrent pas la viabilité de micro-organismes présents.

2.6. ANALYSE

Après la Réception et enregistrement des prélèvements, les écouvillons sont ensemencés sur des milieux sélectifs, incubés pendant 18 à 24 heures. Les colonies ayant poussées sont identifiées et confirmés selon leur profil de résistances aux antibiotiques conformément aux techniques standard de bactériologie REMIC Référentiel en microbiologie médicale – bactériologie et mycologie de la Société française de microbiologie, édition (2020) [24] et les recommandations de l'EUCAST Société Française de Microbiologie Comité de l'antibiogramme de la Société Française de Microbiologie Recommandations (2020) [25].

Les principales BMR recherchées étaient: Staphylocoque aureus résistant à la Méthicilline (SARM), Entérobactéries résistantes aux Carbapénèmes (EPC), Entérobactéries productrices de Beta-lactamase à spectre étendu (EBLSE), Acinetobacter baumannii résistant à l'Imipenème (ABRI), Pseudomonas aeruginosa résistant à l'Imipenème (PARI) et l'Entérocoque résistant à la Vancomycine (ERV).

Après validation, les résultats sont transmis électroniquement via un serveur Internet au service d'hygiène Hospitalière. Ensuite l'équipe se déplace au service pour le feedback, discuter les résultats avec le personnel soignant et le sensibiliser à pérenniser le respect des précautions standard.

3. RÉSULTAT

3.1. CONTAMINATION GLOBALE

Sur l'ensemble des prélèvements réalisés (n: 350), 111 (33%) été positifs, les équipements de ventilation représentaient 48% (46/111) des échantillons contaminés, les autres types d'équipements et de surfaces représentaient (52%) (65/111). Leur répartition est représentée dans le tableau 1.

Tableau 1. Distribution des échantillons positifs

Contamination globale	Négative	Positive	Total	Equipements de ventilation	Autres équipements et surfaces	Total
	229	111	350			
	67%	33%	100%	48%	52%	100%

3.2. FRÉQUENCE DE LA CONTAMINATION DES MATÉRIAUX ET DES ÉQUIPEMENTS SELON LE TYPE

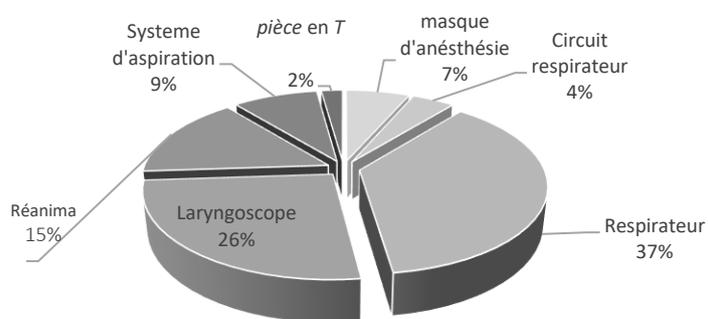


Fig. 3. Fréquence de la contamination des équipements de ventilation

Le pourcentage de contamination le plus élevé a été enregistré pour le respirateur (37%), laryngoscopes (26%) et Réanima (15%)

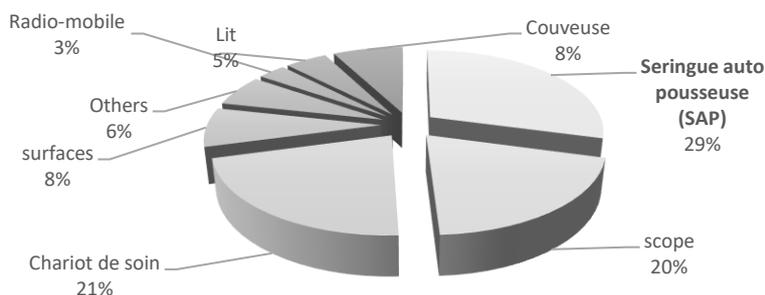


Fig. 4. Fréquence de la contamination d'autres équipements et surfaces

Les points les plus contaminés été la seringue auto-poussant (29%), chariot de soins (21%) et scope (20%)

3.3. DISTRIBUTION GÉNÉRALE DES BACTÉRIES ISOLÉES

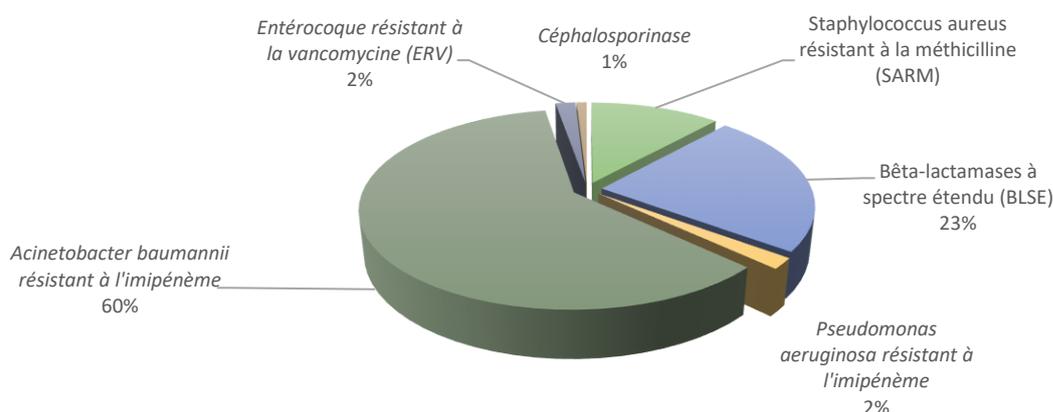


Fig. 5. Distribution des bactéries isolées (BMR)

La distribution globale des germes isolés a permis de noter une prédominance des BGN, Plus que la moitié des sites prélevés (60%) étaient contaminés par ABRI, (23%) par EBLSE et (12%) SARM.

3.4. DISTRIBUTION DES BACTÉRIES ISOLÉES EN FONCTION DES SITES:

Tableau 2. Distribution des bactéries isolées par site

Sites/BMR	SARM	BLSE	PARI	ABRI	ERV	Cephalo	Total/%
Equipements de ventilation							
Masque d'anesthésie	–	–	–	3	–	–	3 (6.52%)
Circuit respiratoire	1	–	–	1	–	–	2 (4.35%)
Respirateur	2	5	–	10	–	–	17 (36.96%)
Laryngoscope	1	–	–	11	–	–	12 (26.09%)
Réanima	0	2	–	5	–	–	7 (15.22%)
System d'aspiration	1	1	1	1	–	–	4 (8.70%)
T-pièce	–	–	–	1	–	–	1 (2.17%)
Total	5 (10.87%)	8 (17.39%)	1 (2.17%)	32 (69.57%)	0	0	46 (100%)
Equipements et surfaces de la chambre de réanimation							
Seringue auto pousseuse (SAP)	1	7	–	10	1	–	19 (29.23%)
Scope	–	5	–	8	–	–	13 (20%)
Chariot de soin	1	2	1	9	–	1	14 (21.54%)
Surface	1	–	–	3	1	–	5 (7.69%)
Radio-mobile	1	–	–	1	–	–	2 (3.08%)
Lit malade	–	–	–	3	–	–	3 (4.62%)
Couveuse	4	–	–	1	–	–	5 (7.69%)
Autres	0	4	–	–	–	–	4, (6.15%)
Total	8 (12.31%)	18 (27.69%)	1 (1.54%)	35 (53.85%)	2 (3.08%)	1 (1.54%)	65 (100%)

Comme l'illustre le tableau 2, plus de 15 sites de prélèvement ont été étudié, situés essentiellement dans la «zone patient», endroit dans lequel se trouve le professionnel de santé, le patient et son environnement qui comprend les surfaces et les objets qui sont utilisés pour la prise en charge de malade et qui sont fréquemment touchées par les mains des soignants.

Globalement, 46/111 (48%) des sites contaminés étaient liés au matériel de ventilation, avec une prédominance d'ABRI (32/46 ou 54%) suivie d'EBLSE (18/46 ou 27,69%) et de SARM (8/46 ou 12,31%).

Les respirateurs (17/46 soit 36%) et les laryngoscopes (12/46 soit 26%) étaient les sites les plus fréquemment contaminés et représentaient plus de la moitié des échantillons positifs.

Pour les autres équipements impliqués dans la prise en charge des malades, 65/111 (54%) étaient contaminés, *Acinetobacter baumannii* était la bactérie la plus fréquemment détectée (35/65 ou 53,85%). Les sites les plus fréquemment contaminés étaient la seringue auto-pulsée (29% ou 19/65) suivi de chariot de soins (21% ou 14/65) et le scope (20% ou 13/65).

L'ABRI a été isolé presque dans 7 sites différents qui sont: Auto pousseuse, réanima, laryngoscope, barboteur, système d'aspiration, pièce T et le masque

La coexistence de *A. baumannii* et EBLSE (66%) a été déterminée comme étant la nation la plus commune de la contamination multibactérienne parmi les échantillons environnementaux étudiés. Cependant, la détection de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline était faible, soit 13/111 (12 %).

4. DISCUSSION

La contamination des chambres dans les services de réanimation et soins intensifs a été largement discutée et prouvée et constitue une véritable source de transmission croisée chez les patients gravement malades [26], [27].

Les recommandations internationales reconnaissent aujourd'hui les intérêts multiples de la surveillance microbiologique de l'environnement dans la prévention des infections nosocomiales à savoir: la prise en considération de la contamination des surfaces, la recherche des réservoirs microbiens à l'origine des cas groupés d'infections ou d'épidémies, évaluation des mesures de nettoyage et désinfection [28], [29].

Dans notre étude, la contamination bactérienne globale de l'environnement était à (33%), (111/229) des échantillons ont été contaminés par des BMR. Ce taux était légèrement supérieur à celui rapporté en Ethiopie (24,4 %), mais inférieur à ceux enregistrés en Iran (51 %), au Nigeria (76 %) et au Brésil (95,5 %). La différence peut être attribuée à la fréquence et le respect des règles de nettoyage et désinfection des surfaces et des équipements médicaux, le type de produits utilisé, et finalement le respect des bonnes pratiques d'hygiène notamment la désinfection des mains et le bon usage des gants [30], [31], [32], [33], [34].

Dans notre étude les prélèvements d'environnement ont ciblé deux catégories, la première était le matériel de ventilation étant donné qu'il est très manipulé par le personnel soignant, en plus les pneumopathies acquises sous ventilation mécanique (PAVM) représentent la première cause d'IN en milieu de réanimation [6]. La deuxième catégorie était les différents équipements et dispositifs médicaux utilisés dans la prise en charge de malade hospitalisés.

Pour le matériel de ventilation presque tous les prélèvements effectués à la recherche des BMR étaient positifs, Le pourcentage de contamination était maximal au niveau du respirateur (37%), laryngoscope (26%), Réanima (15%). Cela pourrait être attribué à la forte manipulation de ces dispositifs par le personnel soignant sans respect strict des précautions d'hygiène.

Des études similaires [35], [36], [37], [38], [39], [40] ont confirmé la contamination de divers dispositifs impliqués dans la ventilation mécanique tels que les lames, les poignées des pièces en Y du laryngoscope et les pièges à eau.

Une étude réalisée par Tajeddine et al. en Iran [41] a révélé un niveau élevé de contamination des équipements de ventilation, notamment des masques à oxygène (81,81 %) et des ventilateurs (82,91 %), qui restent les principaux réservoirs de bactéries résistantes à l'imipénème.

C'est la raison pour laquelle les équipements du système de ventilation nécessitent une attention plus étroite de la part du personnel soignant et aussi une reconnaissance de la part des organismes chargés de l'élaboration des recommandations de prévention des PAVM, généralement l'accent est mis sur les mesures à hygiène buccale, l'aspiration bronchique,, la flore aérodigestive, sans insister sur le rôle déterminant de l'environnement et la contamination des surfaces qui reste très souvent sous-estimé [42], [43].

Concernant la 2eme catégorie (surfaces et équipements) le pourcentage le plus élevé était au niveau de Seringue auto pousseuse (31%) et le Chariot de soins (18%). Ce dernier chiffre est un peu élevé par rapport à une autre étude [44] menée aux États-Unis par Zelencik en 2014 sur la contamination des chariots de soins par des BMR le chiffre été à 1,3 %, un seul prélèvement contaminé représenté par un *Acinetobacter baumannii* multirésistant dans les 80 écouvillons testés.

D'après Huslage [45] les équipements les plus fréquemment touchés sont les plus proches et ceux situés à proximité des patients. Selon cette étude cinq surfaces ont été définies comme étant des surfaces à contact élevé: les barrières de lit, la surface du lit, le chariot, la table de surélévation et la pompe intraveineuse SAP.

Par rapport aux germes isolés *Acinetobacter baumannii* été en première position avec un pourcentage de (58%), suivi par les entérobactéries BLSE (26%). Et le SARM (12%).

ABRI est connu comme un agent pathogène opportuniste fréquemment impliqué dans les épidémies d'IAS en milieu de réanimation et souvent en rapport à la contamination du matériel de ventilation et d'assistance respiratoire [46], [47], [48], [49].

C'est une menace nosocomiale mondiale, un vrai danger, dans une vaste étude internationale, les espèces d'*Acinetobacter* étaient responsables en moyenne de 8,8 % des infections à Gram négatif dans les unités de soins intensifs sur tous les continents, et de plus de 19 % dans les Unités de Soins Intensifs asiatiques [50], [51], [52], [53], [54].

Concernant les entérobactéries productrices de Beta-lactamase à spectre étendu (EBLSE) impliquées dans la contamination des différentes surfaces, notre étude a enregistré un taux de positivité de (23%). Le taux est proche (25,93%) de celui signalé par l'étude réalisée en 2011 à l'hôpital Cheikh Zaid au Maroc. [55].

Pour les souches de *S. aureus*, le taux était relativement faible dans notre hôpital (12%) par rapport à celui enregistré (73,7%) par mohammed, waleed et al. en 2020 [56].

Par contre seulement 2% des surfaces étaient contaminées par l'entérocoque résistant à la vancomycine (ERV), un faible pourcentage de contamination. Ce dernier est considéré comme un agent pathogène nosocomial important en raison de leur rôle dans le développement de différents types d'infections respiratoires aiguës [57].

Le personnel soignant peut contaminer leurs mains après contact avec ces surfaces entourant le lit du malade ou après l'utilisation de l'un de ces équipements contaminés (par exemple, les respirateurs, des ventilateurs) [58], [59], [60]. Dans La majorité des cas se sont équipements électriques et des surfaces irrégulières difficiles à nettoyer [10], [61], [62], [63].

C'est la raison pour laquelle ces surfaces et équipements situées dans la zone du patient doivent être régulièrement nettoyés et désinfectés. Et le personnel soignant doit respecter les indications d'hygiène des mains essentiellement celle par rapport à l'environnement du malade [64].

Suite aux résultats obtenus, un plan d'amélioration a été mis en place, des décisions importantes ont été prises par l'établissement:

Premièrement une augmentation du budget alloué à la prestation du bionettoyage a été doublé, de nouvelles exigences ont été introduites dans le cahier de charge relatif à la prestation de bionettoyage, elles concernent essentiellement l'effectif et l'affectation stable des agents, la qualité des produits exigés et le volume horaire alloué aux services à haut risque infectieux.

En outre notre équipe d'hygiène et de prévention des IAS a été renforcée par l'affectation de deux médecins hygiénistes, et une technicienne d'hygiène.

Des fiches de postes pour les différents agents de bionettoyage ont été élaborées, des réunions régulières ont été organisées avec les responsables de la société sous-traitante pour le suivi de la mise en place des actions correctives.

Notre équipe a même pu concevoir notre propre matériel pédagogique destiné à la validation de l'application des techniques standardisées de frictions des mains avec les solutions hydroalcoolique [Annexe B]. En outre, des affiches et rappels incitatifs ont été préparés et diffusés aux services de soins. Ce sont des supports de communication illustrés de façon à rendre très visuel les mesures de prévention de risque infectieux. Les principales thématiques traitées étaient en relation avec les précautions standard et les règles de nettoyage et désinfection des surfaces [Annexe C]

S'ajoute à cela les séminaires et les journées de formation organisées par l'équipe opérationnelle d'hygiène [Annexe D]. Ces manifestations scientifiques étaient des occasions d'échange, sensibilisation et de partage des expériences.

Le passage régulier au niveau des services de réanimation nous a permis de conclure qu'il existe continuellement des incohérences à rectifier ou des axes d'amélioration à aller chercher surtout dans un milieu complexe comme celui de réanimation. D'où l'importance d'un suivi régulier, une assiduité, une présence continue sur le terrain et une sensibilisation permanente du personnel soignant.

5. CONCLUSION

Nos résultats ont montré que le matériel et les surfaces des unités de soins intensifs étaient fortement contaminés par les bactéries multi résistantes, une cause importante de transmission des infections associées aux soins.

De ce fait, la maîtrise de ce risque, le changement des pratiques doivent être mises en œuvre grâce à une stratégie multimodale, avec intervention d'une équipe spécialisée dans le domaine afin de gérer le risque et mettre en œuvre un programme de contrôle des infections comprenant les axes suivants: surveillance, prévention, formation et évaluation.

REFERENCES

- [1] Trifi, A., Abdellatif, S., Oueslati, M., Zribi, M., Daly, F., Nasri, R., Mannai, R., Fandri, C., & Ben Lakhal, S. (2017). Nosocomial infections: current situation in a resuscitation-unit. *La Tunisie medicale*, 95 (3), 179–184.
- [2] Merzougui, L., Barhoumi, T., Guizani, T., Barhoumi, H., Hannachi, H., Turki, E., & Majdoub, W. (2018). Les infections nosocomiales en milieu de réanimation: incidence annuelle et aspects cliniques au Service de Réanimation Polyvalente, Kairouan, Tunisie, 2014 [Nosocomial infections in the Intensive Care Unit: annual incidence rate and clinical aspects]. *The Pan African medical journal*, 30, 143. <https://doi.org/10.11604/pamj.2018.30.143.13824>.
- [3] Vincent, J. L., Rello, J., Marshall, J., Silva, E., Anzueto, A., Martin, C. D., Moreno, R., Lipman, J., Gomersall, C., Sakr, Y., Reinhart, K., & EPIC II Group of Investigators (2009). International study of the prevalence and outcomes of infection in intensive care units. *JAMA*, 302 (21), 2323–2329. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.1754>.
- [4] Russotto, V., Cortegiani, A., Graziano, G., Saporito, L., Raineri, S. M., Mammina, C., & Giarratano, A. (2015). Bloodstream infections in intensive care unit patients: distribution and antibiotic resistance of bacteria. *Infection and drug resistance*, 8, 287–296. <https://doi.org/10.2147/IDR.S48810>.
- [5] Tabah, A., Koulenti, D., Laupland, K., Misset, B., Valles, J., Bruzzi de Carvalho, F., Paiva, J. A., Cakar, N., Ma, X., Eggimann, P., Antonelli, M., Bonten, M. J., Csomos, A., Krueger, W. A., Mikstacki, A., Lipman, J., Depuydt, P., Vesin, A., Garrouste-Orgeas, M., Zahar, J. R., Timsit, J. F. (2012). Characteristics and determinants of outcome of hospital-acquired bloodstream infections in intensive care units: the EURO-BACT International Cohort Study. *Intensive care medicine*, 38 (12), 1930–1945. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2695-9>.
- [6] Hassoune, Samira & Ouhadous, M. & El Bouri, Hicham & Nani, Samira & Barrou, H.. (2016). Prévalence des infections associées aux soins au centre hospitalier universitaire de Casablanca, Maroc, 2014. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*. 64. S241. [10.1016/j.respe.2016.06.268](https://doi.org/10.1016/j.respe.2016.06.268).
- [7] Shih, M. J., Lee, N. Y., Lee, H. C., Chang, C. M., Wu, C. J., Chen, P. L., Ko, N. Y., & Ko, W. C. (2008). Risk factors of multidrug resistance in nosocomial bacteremia due to *Acinetobacter baumannii*: a case-control study. *Journal of microbiology, immunology, and infection = Wei mian yu gan ran za zhi*, 41 (2), 118–123.
- [8] Falk, P. S., Winnike, J., Woodmansee, C., Desai, M., & Mayhall, C. G. (2000). Outbreak of vancomycin-resistant enterococci in a burn unit. *Infection control and hospital epidemiology*, 21 (9), 575–582. <https://doi.org/10.1086/501806>.
- [9] Gaillot, O., Maruéjols, C., Abachin, E., Lecuru, F., Arlet, G., Simonet, M., & Berche, P. (1998). Nosocomial outbreak of *Klebsiella pneumoniae* producing SHV-5 extended-spectrum beta-lactamase, originating from a contaminated ultrasonography coupling gel. *Journal of clinical microbiology*, 36 (5), 1357–1360. <https://doi.org/10.1128/JCM.36.5.1357-1360.1998>.
- [10] Seki, M., Machida, H., Yamagishi, Y., Yoshida, H., & Tomono, K. (2013). Nosocomial outbreak of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* caused by damaged transesophageal echocardiogram probe used in cardiovascular surgical operations. *Journal of infection and chemotherapy: official journal of the Japan Society of Chemotherapy*, 19 (4), 677–681. <https://doi.org/10.1007/s10156-012-0542-0>.
- [11] Huang, S. S., Datta, R., & Platt, R. (2006). Risk of acquiring antibiotic-resistant bacteria from prior room occupants. *Archives of internal medicine*, 166 (18), 1945–1951. <https://doi.org/10.1001/archinte.166.18.194>.
- [12] Nseir, S., Blazejewski, C., Lubret, R., Wallet, F., Courcol, R., & Durocher, A. (2011). Risk of acquiring multidrug-resistant Gram-negative bacilli from prior room occupants in the intensive care unit. *Clinical microbiology and infection: the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 17 (8), 1201–1208. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2010.03420.x>.
- [13] Talon D. (1999). The role of the hospital environment in the epidemiology of multi-resistant bacteria. *The Journal of hospital infection*, 43 (1), 13–17. <https://doi.org/10.1053/jhin.1999.0613>.
- [14] Lemmen, S. W., Häfner, H., Zolldann, D., Stanzel, S., & Lütticken, R. (2004). Distribution of multi-resistant Gram-negative versus Gram-positive bacteria in the hospital inanimate environment. *The Journal of hospital infection*, 56 (3), 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2003.12.004>.

- [15] Shokoohi, H., Armstrong, P., & Tansek, R. (2015). Emergency department ultrasound probe infection control: challenges and solutions. *Open access emergency medicine: OAEM*, 7, 1–9. <https://doi.org/10.2147/OAEM.S50360>.
- [16] Dancer S. J. (2011). Hospital cleaning in the 21st century. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases: official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, 30 (12), 1473–1481. <https://doi.org/10.1007/s10096-011-1250-x>.
- [17] Weber, D. J., & Rutala, W. A. (2013). Understanding and preventing transmission of healthcare-associated pathogens due to the contaminated hospital environment. *Infection control and hospital epidemiology*, 34 (5), 449–452. <https://doi.org/10.1086/670223>.
- [18] Chemaly, R. F., Simmons, S., Dale, C., Jr, Ghantaji, S. S., Rodriguez, M., Gubb, J., Stachowiak, J., & Stibich, M. (2014). The role of the healthcare environment in the spread of multidrug-resistant organisms: update on current best practices for containment. *Therapeutic advances in infectious disease*, 2 (3-4), 79–90. <https://doi.org/10.1177/2049936114543287>.
- [19] Pittet, D., Allegranzi, B., Sax, H., Dharan, S., Pessoa-Silva, C. L., Donaldson, L., Boyce, J. M., & WHO Global Patient Safety Challenge, World Alliance for Patient Safety (2006). Evidence-based model for hand transmission during patient care and the role of improved practices. *The Lancet. Infectious diseases*, 6 (10), 641–652. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(06\)70600-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(06)70600-4).
- [20] Cho, Won & Lee, Tae & Kim, Soyaja & Chang, Soon & Lee, Won & Kim, Gwang Suk. (2002). A Study for Curriculum Development for Advanced Nurse Practitioner Program. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 32. 917. [10.4040/jkan.2002.32.6.917](https://doi.org/10.4040/jkan.2002.32.6.917).
- [21] SF2H, Référentiel métier: Spécialistes en Hygiène, Prévention, Contrôle de l'infection en milieu de soins. 2018/03, 73 pages. Consulté le 15/03/2018 sur [Referentiel_metier](https://www.sf2h.fr/Referentiel_metier).
- [22] Lefèvre, Jean. (2018). Le rôle des soignants en matière de santé environnementale à l'hôpital. *Soins*. 63. 36-39. [10.1016/j.soins.2018.01.008](https://doi.org/10.1016/j.soins.2018.01.008).
- [23] Auguste P. (2014). Infirmière hygiéniste, une fonction au service de tous [Nurse hygienist, a role in everyone's interest]. *Revue de l'infirmiere*, (203), 31–32.
- [24] Référentiel en microbiologie médicale – bactériologie et mycologie de la Société française de microbiologie, édition (2020). https://www.sfm-microbiologie.org/wp-content/uploads/2020/04/CASFM2020_Avril2020_V1.1.pdf.
- [25] https://www.sfm-microbiologie.org/wp-content/uploads/2020/04/CASFM2020_Avril2020_V1.1.pdf.
- [26] EUCAST Société Française de Microbiologie Comité de l'antibiogramme de la Société Française de Microbiologie Recommandations 2020 V.1.1 Avril https://www.sfm-microbiologie.org/wp-content/uploads/2020/04/CASFM2020_Avril2020_V1.1.pdf.
- [27] Shams, A. M., Rose, L. J., Edwards, J. R., Cali, S., Harris, A. D., Jacob, J. T., LaFae, A., Pineles, L. L., Thom, K. A., McDonald, L. C., Arduino, M. J., & Noble-Wang, J. A. (2016). Assessment of the Overall and Multidrug-Resistant Organism Bioburden on Environmental Surfaces in Healthcare Facilities. *Infection control and hospital epidemiology*, 37 (12), 1426–1432. <https://doi.org/10.1017/ice.2016.198>.
- [28] Strich, J. R., & Palmore, T. N. (2017). Preventing Transmission of Multidrug-Resistant Pathogens in the Intensive Care Unit. *Infectious disease clinics of North America*, 31 (3), 535–550. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2017.05.010>.
- [29] Sehulster, L., Chinn, R. Y., CDC, & HICPAC (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). *MMWR. Recommendations and reports: Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports*, 52 (RR-10), 1–42.
- [30] Ministère chargé de la Santé. Surveillance microbiologique de l'environnement dans les établissements de santé: air, eaux, surfaces. DGS/DHOS/CTIN, 2002.
- [31] Lokkur, P. P., & Nagaraj, S. (2014). The prevalence of bacterial contamination of stethoscope diaphragms: a cross sectional study, among health care workers of a tertiary care hospital. *Indian journal of medical microbiology*, 32 (2), 201–202. <https://doi.org/10.4103/0255-0857.129845>.
- [32] Abubakar, Firdausi & Idris, Hamza & Abdullahi, Saratu. (2016). Bacterial Contamination of Food Handlers at Various Restaurants in Kano State Metropolis, Kano Nigeria. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 5. 165-170. [10.20546/ijcmas.2016.505.018](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.505.018).
- [33] Shiferaw, T., Beyene, G., Kassa, T., & Sewunet, T. (2013). Bacterial contamination, bacterial profile and antimicrobial susceptibility pattern of isolates from stethoscopes at Jimma University Specialized Hospital. *Annals of clinical microbiology and antimicrobials*, 12, 39. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-12-39>.
- [34] Dabsu, R., Woldeamanuel, Y., & Asrat, D. (2016). Otoscope and stethoscope: Vehicles for microbial colonization at Tikur Anbessa Specialized Referral Hospital, Addis Ababa, Ethiopia. *The Ethiopian Journal of Health Development*, 28 (1). Retrieved from <https://ejhd.org/index.php/ejhd/article/view/122>.
- [35] Damaceno, Quésia & Iquiapaza, Robert & Oliveira, Adriana. (2014). Comparing Resistant Microorganisms Isolated from Patients and Environment in an Intensive Care Unit. *Advances in Infectious Diseases*. 04. 30-35. [10.4236/aid.2014.41006](https://doi.org/10.4236/aid.2014.41006).

- [36] Lestari, T., Ryll, S., & Kramer, A. (2013). Microbial contamination of manually reprocessed, ready to use ECG lead wire in intensive care units. *GMS hygiene and infection control*, 8 (1), Doc07. <https://doi.org/10.3205/dgkh000207>.
- [37] Spertini, V., Borsoi, L., Berger, J., Blacky, A., Dieb-Elschahawi, M., & Assadian, O. (2011). Bacterial contamination of anesthesia machines' internal breathing-circuit-systems. *GMS Krankenhaushygiene interdisziplinär*, 6 (1), Doc14. <https://doi.org/10.3205/dgkh000171>.
- [38] Hall JR. Blood contamination of anesthesia equipment and monitoring equipment. *Anesth Analg*. 1994; 78 (6): 1136–1139. [PubMed], [Google Scholar].
- [39] Sui, Y. S., Wan, G. H., Chen, Y. W., Ku, H. L., Li, L. P., Liu, C. H., & Mau, H. S. (2012). Effectiveness of bacterial disinfectants on surfaces of mechanical ventilator systems. *Respiratory care*, 57 (2), 250–256. <https://doi.org/10.4187/respcare.01180>.
- [40] Choi, J. H., Cho, Y. S., Lee, J. W., Shin, H. B., & Lee, I. K. (2017). Bacterial Contamination and Disinfection Status of Laryngoscopes Stored in Emergency Crash Carts. *Journal of preventive medicine and public health = Yebang Uihakhoe chi*, 50 (3), 158–164. <https://doi.org/10.3961/jpmph.17.013>.
- [41] Morell RC, Ririe D, James RL, Crews DA, Huffstetler K. A survey of laryngoscope contamination at a university and a community hospital. *Anesthesiology*. 1994; 80 (4): 960. [PubMed], [Google Scholar].
- [42] Tajeddin, E., Rashidan, M., Razaghi, M., Javadi, S. S., Sherafat, S. J., Alebouyeh, M., Sarbazi, M. R., Mansouri, N., & Zali, M. R. (2016). The role of the intensive care unit environment and health-care workers in the transmission of bacteria associated with hospital acquired infections. *Journal of infection and public health*, 9 (1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2015.05.010>.
- [43] Collard, Harold & Saint, Sanjay & Matthay, Michael. (2003). Prevention of Ventilator-Associated Pneumonia: An Evidence-Based Systematic Review. *Annals of internal medicine*. 138. 494-501. 10.7326/0003-4819-138-6-200303180-00015.
- [44] Tablan, O. C., Anderson, L. J., Besser, R., Bridges, C., Hajjeh, R., CDC, & Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (2004). Guidelines for preventing health-care--associated pneumonia, 2003: recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. *MMWR. Recommendations and reports: Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports*, 53 (RR-3), 1–36.
- [45] Zelencik, S., Schora, D., Fisher, A., Brudner, C., Patel, P., Robicsek, A., Smith, B., Peterson, L. R., & Wright, M. O. (2014). Multidrug-resistant organisms contaminating supply carts of contact isolation patients. *American journal of infection control*, 42 (10), 1124–1126. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2014.06.009>.
- [46] Huslage, K., Rutala, W. A., Sickbert-Bennett, E., & Weber, D. J. (2010). A quantitative approach to defining "high-touch" surfaces in hospitals. *Infection control and hospital epidemiology*, 31 (8), 850–853. <https://doi.org/10.1086/655016>.
- [47] Jawad, A., Seifert, H., Snelling, A. M., Heritage, J., & Hawkey, P. M. (1998). Survival of *Acinetobacter baumannii* on dry surfaces: comparison of outbreak and sporadic isolates. *Journal of clinical microbiology*, 36 (7), 1938–1941. <https://doi.org/10.1128/JCM.36.7.1938-1941.1998>.
- [48] Wendt, C., Dietze, B., Dietz, E., & Rüdén, H. (1997). Survival of *Acinetobacter baumannii* on dry surfaces. *Journal of clinical microbiology*, 35 (6), 1394–1397. <https://doi.org/10.1128/JCM.35.6.1394-1397.1997>.
- [49] Villers, D., Espaze, E., Coste-Burel, M., Giauffret, F., Ninin, E., Nicolas, F., & Richet, H. (1998). Nosocomial *Acinetobacter baumannii* infections: microbiological and clinical epidemiology. *Annals of internal medicine*, 129 (3), 182–189. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-129-3-199808010-00003>.
- [50] Katzenberger, R. H., Rösel, A., & Vonberg, R. P. (2021). Bacterial survival on inanimate surfaces: a field study. *BMC research notes*, 14 (1), 97. <https://doi.org/10.1186/s13104-021-05492-0>.
- [51] Neely A. N. (2000). A survey of gram-negative bacteria survival on hospital fabrics and plastics. *The Journal of burn care & rehabilitation*, 21 (6), 523–527. <https://doi.org/10.1097/00004630-200021060-00009>.
- [52] Hanczvikkel, A., & Tóth, Á. (2018). Quantitative study about the role of environmental conditions in the survival capability of multidrug-resistant bacteria. *Journal of infection and public health*, 11 (6), 801–806. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2018.05.001>.
- [53] de Regt, M. J., van der Wagen, L. E., Top, J., Blok, H. E., Hopmans, T. E., Dekker, A. W., Hené, R. J., Siersema, P. D., Willems, R. J., & Bonten, M. J. (2008). High acquisition and environmental contamination rates of CC17 ampicillin-resistant *Enterococcus faecium* in a Dutch hospital. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, 62 (6), 1401–1406. <https://doi.org/10.1093/jac/dkn390>.
- [54] Zárate, M. S., Gales, A., Jordá-Vargas, L., Yahni, D., Relloso, S., Bonvehi, P., Monteiro, J., Campos-Pignatari, A., & Smayevsky, J. (2007). Contaminación ambiental durante un brote de enterococo resistente a vancomicina en un hospital de Argentina [Environmental contamination during a vancomycin-resistant *Enterococci* outbreak at a hospital in Argentina]. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, 25 (8), 508–512. <https://doi.org/10.1157/13109987>.
- [55] Bressan, R., Knezevich, A., Monticelli, J., Campanile, F., Buseti, M., Santagati, M., Dolzani, L., Milan, A., Bongiorno, D., Di Santolo, M., Tonin, E. A., Stefani, S., Luzzati, R., & Lagatolla, C. (2018). Spread of Vancomycin-Resistant *Enterococcus faecium* Isolates Despite Validated Infection Control Measures in an Italian Hospital: Antibiotic Resistance and Genotypic

- Characterization of the Endemic Strain. *Microbial drug resistance* (Larchmont, N.Y.), 24 (8), 1148–1155. <https://doi.org/10.1089/mdr.2017.0314>.
- [56] N. Bennani Mechita, MD, R. Razine, MPH, A. Saadi, MD, L. Lahlou, MD, J. Kasouati, MD, K. Sabai Idrissi, MD, A. Benouda, MD, M. Mrabet, MD, Evolution of Extended Spectrum Beta-Lactamase enterobacteriaceae in the Hospital Cheikh Zaid from 2009 to 2011., *International Journal of Epidemiology*, Volume 44, Issue suppl_1, October 2015, Pages i268–i269, <https://doi.org/10.1093/ije/dyv096.513>.
- [57] Mohammed, waleed & hassan, hassabelrasoul & yousif, mirghani. (2020). Antibiotic sensitivity pattern of bacteria isolated from the environment of intensive care unit of wad medani emergency hospital, gezira state, sudan. *International journal of current pharmaceutical research*. 82-85. 10.22159/ijcpr.2020v12i5.39772.
- [58] Furtado, G. H., Martins, S. T., Coutinho, A. P., Wey, S. B., & Medeiros, E. A. (2005). Prevalence and factors associated with rectal vancomycin-resistant enterococci colonization in two intensive care units in São Paulo, Brazil. *The Brazilian journal of infectious diseases: an official publication of the Brazilian Society of Infectious Diseases*, 9 (1), 64–69. <https://doi.org/10.1590/s1413-86702005000100011>.
- [59] Weber, D. J., Rutala, W. A., Miller, M. B., Huslage, K., & Sickbert-Bennett, E. (2010). Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pathogens: norovirus, *Clostridium difficile*, and *Acinetobacter* species. *American journal of infection control*, 38 (5 Suppl 1), S25–S33. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.04.196>.
- [60] Agodi, A., Barchitta, M., Cipresso, R., Giaquinta, L., Romeo, M. A., & Denaro, C. (2007). *Pseudomonas aeruginosa* carriage, colonization, and infection in ICU patients. *Intensive care medicine*, 33 (7), 1155–1161. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0671-6>.
- [61] Russotto, V., Cortegiani, A., Raineri, S. M., & Giarratano, A. (2015). Bacterial contamination of inanimate surfaces and equipment in the intensive care unit. *Journal of intensive care*, 3, 54. <https://doi.org/10.1186/s40560-015-0120-5>.
- [62] Borer, A., Gilad, J., Smolyakov, R., Eskira, S., Peled, N., Porat, N., Hyam, E., Treffer, R., Riesenber, K., & Schlaeffer, F. (2005). Cell phones and *Acinetobacter* transmission. *Emerging infectious diseases*, 11 (7), 1160–1161. <https://doi.org/10.3201/eid1107.050221>.
- [63] Teng, S. O., Lee, W. S., Ou, T. Y., Hsieh, Y. C., Lee, W. C., & Lin, Y. C. (2009). Bacterial contamination of patients' medical charts in a surgical ward and the intensive care unit: impact on nosocomial infections. *Journal of microbiology, immunology, and infection = Wei mian yu gan ran za zhi*, 42 (1), 86–91.
- [64] Jeske, H. C., Tiefenthaler, W., Hohlrieder, M., Hinterberger, G., & Benzer, A. (2007). Bacterial contamination of anaesthetists' hands by personal mobile phone and fixed phone use in the operating theatre. *Anaesthesia*, 62 (9), 904–906. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2007.05172.x>.
- [65] World Health Organization. *Recommandations OMS pour l'hygiène des mains au cours des soins (version avancée) : synthèse: des mains propres sont des mains sûres*. Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/69144>.

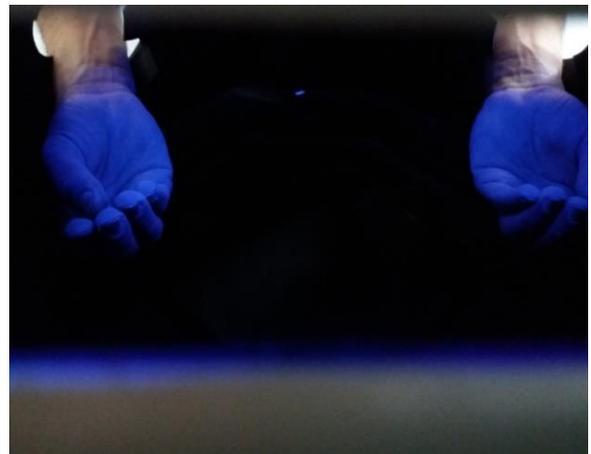
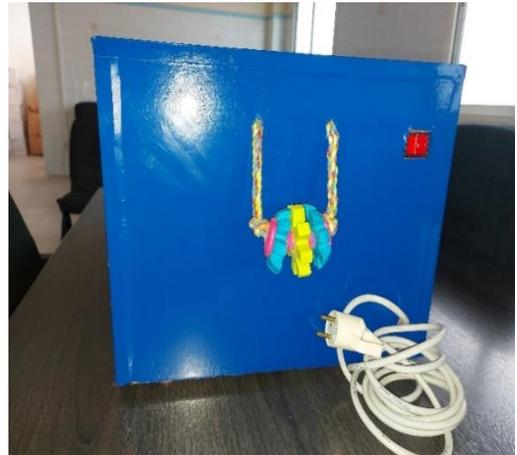
ANNEXE A. GRILLE DE CONTRÔLE MICROBIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

- Date:
- Heure:
- Service:
- Contexte:
- Opérateur:

N°	Sites de prélèvements	Résultats
Box N°		
1		
2		
3		
4		
5		
Box N°		
6		
7		
8		
9		
10		

*Service d'Hygiène Hospitalière
Comité de lutte contre l'infection nosocomiale*

ANNEXE B. FABRICATION BOÎTE PÉDAGOGIQUE (POUR LA FRICTION HYDROALCOLIQUE DES MAINS)



ANNEXE C. AFFICHES DE PRÉVENTION DU RISQUE INFECTIEUX

CLIN *Désinfection des mains par friction hydro-alcoolique* **CHU**

7 Étapes

— Dose suffisante de SHA
— Étapes à renouveler jusqu'au séchage complet
— Ne pas rincer, ni essuyer après friction

Avantages

- Gain de temps
- Plus efficaces
- Mieux tolérées
- Meilleure observance

Uniquement sur des mains :

- Propres (Sans salissures visibles)
- Sèches (Non mouillées)
- Non poudrées
- Non lésées

Plus d'infos Veuillez contacter le Service d'hygiène Hospitalière /CLIN- CHUIR-Casablanca

Nettoyage et Désinfection "Incubateurs"

1 En présence de l'enfant

Intérieur de l'incubateur

- Si le nouveau-né peut être sorti de l'incubateur, privilégier l'entretien en son absence.
- A l'aide d'une chiffonnette imbibée avec le détergent-désinfectant adapté, nettoyer le matelas, les parois internes en commençant par le côté le plus propre et en terminant par le plus sale (tête, sommet, parois latérales, pied, plateau et socle de l'incubateur).

Extérieur de l'incubateur

- Nettoyer à l'aide d'une chiffonnette imbibée de produit détergent-désinfectant les surfaces extérieures en plastique de haut en bas, les montants de la couverture, le support, les plans de travail, les tablettes, le socle, le respirateur, etc...

Friction du bac à eau

- Si le bac est démontable, l'entretien des bacs à eau est quotidien.
- Si le bac n'est pas démontable, privilégier les systèmes clos.

2 Hors présence de l'enfant

L'entretien de l'incubateur est réalisé :

- au changement d'incubateur (néonatare ou à défaut tous les 15 jours),
- à la sortie de l'enfant de l'incubateur

Comment ?

- Retirer les éléments amovibles (matelas et socle, bac à eau, joints de hublots, casier de rangement), les immerger dans la solution détergente-désinfectante (sauf le matelas et la sonde thermique).
- Respecter le temps de contact en fonction du produit.
- Nettoyer l'habitacle avec une chiffonnette imbibée de détergent-désinfectant :
 - Parois intérieures : de haut en bas puis terminer par les hublots.
 - Parois extérieures : habitacle, montants, placards, roulettes.
- Sécher l'incubateur avec un linge propre.
- Nettoyer, rincer, sécher les éléments amovibles et les repositionner.
- Protéger l'incubateur avec un linge propre et le ranger dans un local propre.
- Assurer la traçabilité du nettoyage.

Plus d'infos Veuillez contacter le Service d'hygiène Hospitalière /CLIN- CHUIR-Casablanca

Le bon usage des gants de soin **CLIN**

Les 7 règles

- 1) Je respecte strictement les indications : je ne porte les gants que si c'est nécessaire :
 - contact avec du sang
 - autres liquides biologiques,
 - une peau lésée,
 - une muqueuse
 - matériel potentiellement contaminé.
- 2) Je choisis un gant adapté à chaque usage.
- 3) Je change de gants :
 - Entre 2 patients.
 - Entre 2 soins.
 - En cas d'interruption des soins.
 - S'ils sont déchirés, percés ou souillés.
- 4) Je me lave les mains avant et après le port des gants.
- 5) Je ne (lave /désinfecte) jamais les gants
- 6) Je conserve les gants dans leur boîte d'origine.
- 7) Je consulte le médecin du travail si je constate une réaction indésirable au port des gants

Important

Plus d'infos Veuillez contacter le Service d'hygiène Hospitalière /CLIN- CHUIR-Casablanca

Gestion du Chariot de Soins **CLIN**

Principes généraux

- Travailler avec le matériel nécessaire pour la journée **sans accumulation de matériel.**
- Affecter un quai/don de soins à chaque secteur de soins

Organisation

Nettoyage et Désinfection

Avant utilisation : SHA, matériel pour soins aseptiques et DM à 100°C

Après utilisation : matériel de protection (gants et bottes), DM propre, matériel de contention

Après utilisation : Bac de pré-traitement des DM souillés, bassin renseau de détergent-désinfectant

En début de la journée : Nettoyer et désinfecter les trois niveaux.

Entre deux patients : Désinfecter le plateau supérieur

En fin de dispersion des soins : Nettoyer et désinfecter les trois niveaux.

Bienvenue : En l'absence de lingettes pré-impregnées, utiliser un chiffon humide et un détergent désinfectant.

Plus d'infos Veuillez contacter le Service d'hygiène Hospitalière /CLIN- CHUIR (2019)

ANNEXE D. SÉMINAIRES, FORMATIONS À LA PRÉVENTION DU RISQUE INFECTIEUX


Centre Hospitalier Universitaire IBN ROCHD
 Service d'Hygiène Hospitalière
 Comité de Lutte contre l'Infection Nosocomiale





13^{ème} Journée Ibn Rochd d'Hygiène Hospitalière

Au programme

<p>Conférences</p> <p>Communications orales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Précautions complémentaires • Prévention des pneumopathies nosocomiales <p>Communications affichées</p> <p>Prix meilleurs posters</p>	<p>Ateliers pratiques « sur inscription »</p> <ul style="list-style-type: none"> • Epuisement professionnel Pr O. Battas • Stress professionnel quel impact sur la qualité de soins Dr K. Deroui
--	---

Jeudi 14 Mars 2019 à partir de 8h30 — Amphithéâtre Ibn Nafis
Faculté de Médecine et de Pharmacie de Casablanca
 Contact : ahidousclin@gmail.com


 SERVICE D'HYGIENE HOSPITALIERE
 COMITE DE LUTTE CONTRE
 L'INFECTION NOSOCOMIALE



6^{ème} Journée Ibn Rochd d'Hygiène des Mains
 « Des soins Propres pour TOUS, c'est entre vos MAINS »



**SAUVEZ DES VIES
LAVEZ-VOUS LES MAINS**

Recommandations
 Quizz/Compétition
 Animation
 Affiches

Jeudi 23 Mai 2019 à partir de 8h30
 « Salle de réunion de l'hôpital 20 Août 1953 »


SEMINAIRE


Où? Pourquoi? Quand? Qui? Comment? Combien?



Nettoyage et Désinfection
 « Matériel Médico-Technique »

Programme
 communication orale
 Ateliers
 Quizz
 Attestations

Public cible : Personnel Soignant
Date : Octobre 2019



Salle de réunion « Service d'Hygiène Hospitalière –CLIN »


 Centre Hospitalo-Universitaire IBN Rochd
 Service d'Hygiène Hospitalière
 Comité de lutte contre l'infection nosocomiale



SEMINAIRE



Infection Nosocomiale en réanimation

Thèmes :
 Maîtrise du risque infectieux et gestes invasifs

- Cathétérisme vasculaire
- Abords respiratoires
- Sondage urinaire.

Antibiothérapie

...Novembre 2019 - Salle de formation- Hôpital Ibn Rochd-

Covid-19: Contribution essentielle de l'équipe en prévention et contrôle de l'infection (PCI)

[Covid-19: Essential contribution of the infection prevention and control team (IPC)]

Mounir Arai¹⁻², M. Ouhadous², A. Rafik², H. Laajane³, L. Barrou⁴, and K. Zerouali⁵⁻⁶

¹Faculté de médecine et de pharmacie, Université Hassan II - Casablanca, Morocco

²Service d'Hygiène Hospitalière-CLIN, CHU IBN Rochd, Casablanca, Morocco

³Hassan II Université of Casablanca, Morocco

⁴Réanimation chirurgicale, CHU IBN Rochd, Casablanca, Morocco

⁵Laboratoire de microbiologie, Faculté de médecine et de pharmacie, Université Hassan II - Casablanca, Morocco

⁶Laboratoire de microbiologie, Centre hospitalier universitaire Ibn Rochd, Casablanca, Morocco

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Introduction:* COVID-19 caused a major health crisis and quarantined half of the world's population. The pandemic disrupted medical practices and put enormous pressure on the health care system and health care workers in most countries. This has prompted hospitals to reorganize their services, to ensure the provision of appropriate equipment for both patients and caregivers, and to reinforce precautions and hygiene measures. The objective of our study was to share the initiatives carried out by the infection prevention and control team in terms of controlling the infectious risk linked to Covid-19, to identify the strengths and weaknesses and to identify areas for improvement.

Method: Retrospective descriptive study of two years, (2020-2021) from the phase of triggering the covid -19 crisis plan, to the resumption of activities at a university hospital.

Results: The measures taken to deal with the pandemic include the management process of screening operations for suspected and confirmed cases. A total of 4115 samples for PCR were taken during the year 2020.

Between February and December 2020, approximately 900 health professionals were trained, a guide on the prevention of COVID-19 was developed and disseminated to all services involved in the care of patients with COVID-19.

5043 disinfection operations after the passage of a suspected or confirmed COVID-19 case were coordinated.

Finally, the study presents the challenges, the difficulties encountered and the positive impact of covid-19 on the institution, the caregivers and the HCAI control activity.

Conclusion: COVID-19 has had a considerable impact on the activities of our department. The close collaboration of the team has proven its importance and efficiency in responding to the constraints and adapting the activity according to the progression of the pandemic and to the mission of our department, which is to prevent the risk of infection.

KEYWORDS: COVID-19, infection prevention and control, feedback.

RESUME: *Introduction:* Le COVID-19 a provoqué une crise sanitaire majeure et mis en quarantaine la moitié de la population planétaire, La pandémie a bouleversé les pratiques médicales, a mis une énorme pression sur le système des soins de santé et sur le personnel soignant dans la plupart des pays.

Ceci a incité les hôpitaux à réorganiser leurs services, à assurer la mise à disposition d'équipements appropriés tant pour les patients que pour le personnel soignant et à renforcer les précautions et les mesures d'hygiène. L'objectif de notre étude était de partager les initiatives réalisées par l'équipe en prévention et contrôle de l'infection en matière de maîtrise du risque infectieux lié au Covid-19, identifier les forces et faiblesses et dégager les axes d'amélioration.

Méthode: Etude rétrospective descriptive de deux ans, (2020-2021) depuis la phase de déclenchement du plan de crise covid-19, jusqu'à la reprise des activités au niveau d'un centre hospitalier universitaire.

Résultats: Les mesures prises pour faire face à la pandémie comporte essentiellement le processus de gestion d'opération de dépistage des cas suspects et confirmés, au total 4115 prélèvements pour PCR ont été effectués durant l'année 2020.

Entre février et décembre 2020, environ 900 professionnels de santé a été formé, un guide relatif aux mesures de prévention de la COVID-19 a été élaboré et diffusé auprès de tous les services impliqués dans la prise en charge des malades covid-19.

5043 opérations de désinfection après le passage d'un cas suspect ou confirmé COVID-19 ont été coordonnées.

Enfin, l'étude présente les défis, les difficultés rencontrées et les retombées positives de covid 19 sur l'établissement, les soignants et l'activité de maîtrise des IAS.

Conclusion: COVID-19 a eu un impact considérable sur les activités de notre service. L'étroite collaboration de l'équipe, a prouvé son importance et son efficacité pour répondre aux contraintes et pour adapter l'activité selon la progression de la pandémie et répondre à la mission de notre service celle de prévenir le risque infectieux.

MOTS-CLEFS: COVID-19, prévention et contrôle de l'infection, retour d'expérience.

1. INTRODUCTION

En décembre 2019, la maladie à coronavirus 2019 (COVID-19) a été signalée pour la première fois à Wuhan, en Chine. Par la suite, le 11 mars 2020, l'Organisation mondiale de la santé l'a déclaré la pire pandémie mondiale que l'humanité ait connue depuis un siècle [1] qui a provoquée des perturbations impactant avec sévérité les systèmes de santé du monde entier [2].

En date du 2 octobre 2020, plus de 34,3 millions de cas confirmés de COVID-19 avaient été recensés dans le monde et plus de 1 000 000 de décès associés dans plus de 180 pays [3], [4].

Même si l'Afrique a été touchée plus tardivement, elle est toujours au centre d'intérêt mondiale en tant que zone gravement menacée par la pandémie, notamment du fait qu'un grand nombre de pays africains, en particulier ceux à revenu faible et moyen sont confrontés au risque de débordement de leurs systèmes de santé déjà fragiles, souffrant de la limitation des ressources humaines et matérielles nécessaires pour mieux gérer la crise [5] Dans le monde entier et depuis le début de cette crise, le personnel soignant est la catégorie professionnelle la plus exposée aux risques de contamination. Il représente 10 % des cas signalés en Chine [6] et jusqu'à 9 % de tous les cas en Italie [7].

Une étude récente menée au Royaume-Uni et aux Etats-Unis a estimé que les soignants de première ligne avaient un risque 3 à 4 fois plus élevé que les personnes vivant dans la communauté générale de rapporter un test positif [8].

L'infection chez le personnel soignant est très préoccupante à cause de son risque de propagation nosocomiale dans les établissements de santé, pouvant aboutir à une réduction importante de l'effectif surtout dans les services de réanimation et de soins intensifs qui sont déjà limités dans les pays en voie de développement [9], [10].

D'où l'importance de gérer le risque de contamination lié au covid 19, une activité que le personnel soignant et la profession infirmière ont participé activement comme jamais auparavant notamment en rapport avec l'expertise clé qu'est la prévention et le contrôle des infections [11], [12], [13].

Ce dernier volet est l'une des sujets les plus discutés et rediscuté lors de la pandémie covid, et l'équipe opérationnelle d'hygiène a contribué, de manière significative et tangible, à la gestion, et au contrôle des infections.

Les principaux objectifs de ce retour d'expérience (RETEX) étaient de partager les initiatives réalisées par l'équipe en prévention et contrôle de l'infection en matière de maîtrise du risque infectieux lié au Covid-19, identifier les forces et faiblesses et dégager les axes d'amélioration.

2. MÉTHODE

2.1. CADRE D'ÉTUDE

Il s'agit d'une étude rétrospective descriptive de deux ans, (2020-2021) depuis la phase de déclenchement du plan de crise covid -19, jusqu'à la reprise des activités au niveau d'un centre hospitalier universitaire.

2.2. EQUIPE OPÉRATIONNELLE D'HYGIÈNE

Le comité de lutte contre l'infection nosocomiale a été créé dans notre centre universitaire en 1994. Son rôle est de définir la politique de prévention des infections nosocomiales et de coordonner la mise en œuvre de cette politique par l'équipe opérationnelle d'hygiène (EOH). C'est une équipe permanente composée de deux cadres infirmiers hygiénistes, 6 techniciens biohygiénistes, 2 médecins et une assistante de direction.

2.3. RÔLE DES DIFFÉRENTS INTERVENANTS DANS LE PROCESSUS

L'infirmier et le médecin hygiénistes s'occupent du dépistage des cas, la formation sue personnel soignant, rédaction des fiches de bonnes pratiques d'hygiène et de protection covid 19.

Les bionhygiensites s'occupent de la gestion du risque lié à l'environnement.

L'assistante médicale assure la traçabilité et la gestion documentaire de l'équipe.

2.4. LIENS ENTRE LES PARTENAIRES

Pour bien fonctionner durant la pandémie covid-19, l'équipe été en relation étroite avec plusieurs partenaires.

Les relations professionnelles les plus fréquentes étaient avec Laboratoire de bactériologie virologie et hygiène, le service des soins infirmiers, service d'approvisionnement la pharmacie et les services cliniques.

Le principal partenaire extra hospitalier était l'institut pasteur.

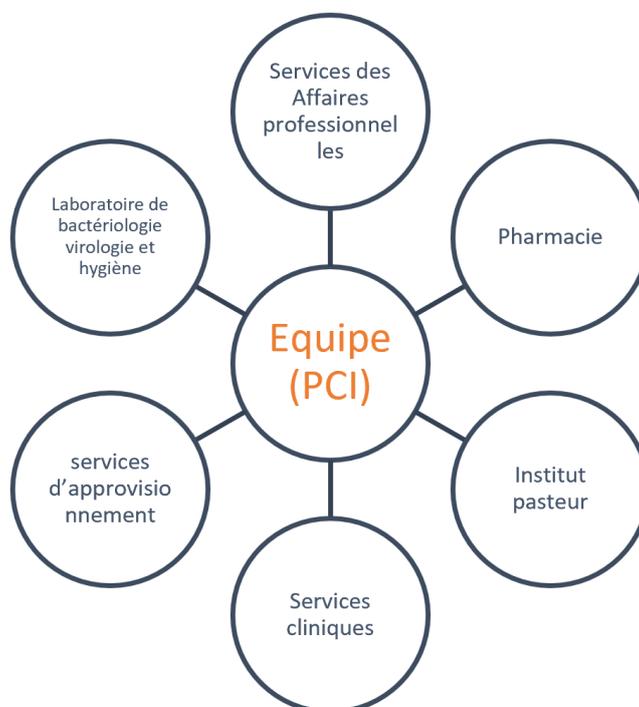


Fig. 1. Relation de l'équipe en PCI

2.5. GESTION DE LA RÉUNION

Le comité se réunit régulièrement, généralement une fois par jour, ou une fois par semaine, selon les circonstances et les actualités de la pandémie. Les objectifs étaient de discuter les principales recondamnations, mise au point sur l'évolution de la situation épidémiologique au centre hospitalier, les difficultés rencontrées et les actions à mettre en œuvre.

2.6. CHRONOLOGIE OU UN CHRONOGRAMME DES ACTIONS

A partir du mois de Mars 2020 toute l'activité du service d'hygiène hospitalière a été consacrée à la gestion de la Pandémie COVID-19, plusieurs volets ont été abordés (Fig.2)

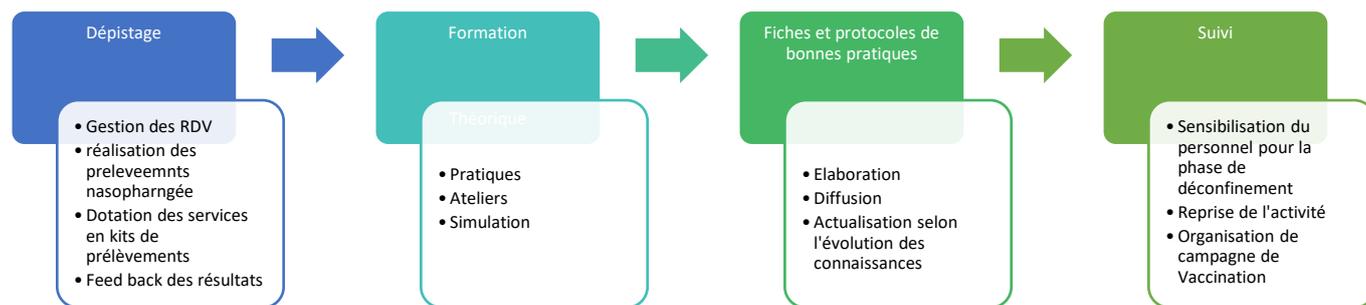


Fig. 2. Chronogramme des actions (Prévention et contrôle des infections)

2.7. OUTILS

Face à cette situation nous avons élaboré une panoplie d'outils de traçabilité spécifiquement pour la gestion des activités liées à la crise sanitaire.

Les principaux étaient en relation avec le dépistage des cas suspects ou confirmés, gestion d'application relative à la génération des codes en coordination avec le ministère de la santé (covid19.wraqi.ma).

Les autres en rapport avec la gestion des RDV relatifs à la réalisation des prélèvements chez le personnel soignant et leurs familles, formation, Gestion des stocks des produits détergents désinfectants, le suivi des activités de bionettoyage, la vaccination du personnel soignant.

Ces documents ont permis de suivre l'évolution, mieux organiser le travail.

3. RÉSULTATS

3.1. DÉPISTAGE

Avec l'arrivée du Covid-19, un plan de dépistage (depuis le mois de mars 2020) a été mis en place dans notre établissement et géré par notre équipe d'hygiène Hospitalière. Le test du Prélèvement Rhino-Pharyngé permet de savoir si une personne est atteinte de ce virus. Si ce test est mal réalisé, les résultats qui s'ensuivent peuvent être faussés.

La sensibilité, l'importance du geste nous a poussé de s'organiser, s'autoformer sur les modalités pratique de prélèvement, les précautions à prendre, la traçabilité de l'acte.

- Modalités de prélèvements

Toute opération de dépistage fait l'objet d'une autorisation préalable du chef du service.

Cette validation porte sur un protocole qui permet d'assurer la sécurité de l'opération.

Ce protocole est validé par l'administration de notre centre hospitalier universitaire.

Un formulaire doit être rempli et il doit recueillir:

- L'identification complète de la personne: par son nom, prénom, âge, adresse, numéro de tél et email,
- Les conditions de son hébergement (individuel ou collectif),
- Les symptômes évocateurs de la covid-19 avec leur date d'apparition,

Par la suite ces informations font l'objet d'une remontée de données au ministère de la santé à l'adresse suivante: (covid19.wraqi.ma).

Au début cette opération a été assurée uniquement par les infirmiers hygiénistes, mais au fur et à mesure Le nombre de tests progresse, et la demande été très forte, ce qui nous a poussé à coordonner avec d'autres partenaires (fig.1) pour mieux gérer le flux et mieux organiser les informations.

- **Locaux et conditions environnementales:**

Les locaux dans lesquels se déroule l'opération de dépistage sont aménagés en pièces séparées selon le principe de la marche en avant, Ils comprennent:

- Une salle ou zone d'accueil pour mener dans le respect de la confidentialité l'entretien préalable et le recueil des données personnelles.
- Un local ou zone de prélèvement naso-pharyngé.

Ces locaux ont été dotés d'un point d'eau pour le lavage hygiénique des mains ou de Solution hydroalcoolique.

- **Nombre des prélèvements réalisés:**

Au total 4115 prélèvements pour PCR ont été effectués par l'équipe du service d'hygiène hospitalière durant l'année 2020. Le nombre de prélèvements par mois est résumé dans la figure ci-dessous:

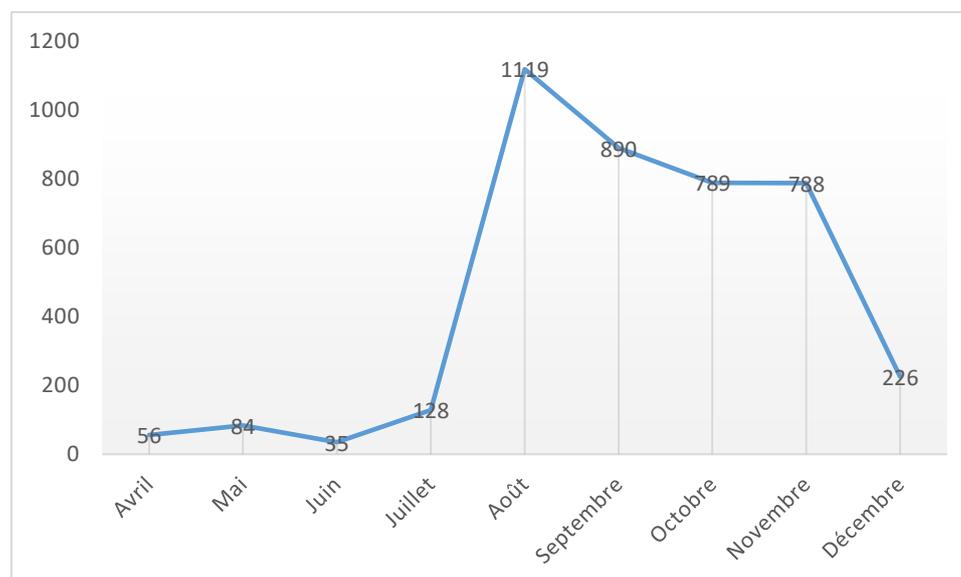


Fig. 3. Nombre de prélèvements effectués

Le plus grand nombre de prélèvements a été réalisé au cours du mois d'Août 2020 (1119) Les quatre mois qui ont connu le plus grand nombre de prélèvements étaient: Août, Septembre, Octobre et Novembre.

- **Confirmation des tests positifs**

Après la validation, l'équipe communique les résultats au personnel (remettre à la personne testée un document attestant le résultat du test) en les informant sur les précautions à prendre afin de limiter la transmission de virus et d'entamer la procédure de dépistage pour les cas contacts.

- Suivi

Par la suite notre équipe a assuré la formation du personnel soignant sur le protocole de réalisation des prélèvements pour PCR chez les patients hospitalisés.

Participation la gestion du stock des kits de prélèvement et l'approvisionnement des services hospitaliers et les unités de prise en charge des cas de COVID 19 en coordination avec le laboratoire de bactériologie virologie et hygiène.

3.2. ELABORATION ET DIFFUSION DES AFFICHES ET PROTOCOLES

La principale mission que nous avons eu dans la gestion de cette crise a été la mise en œuvre des recommandations nationales visant à prévenir la diffusion intra-hospitalière du virus.

Nous avons dû rapidement (Mars 2020) élaborer un guide relatif aux mesures de prévention de la COVID-19 pour aider le personnel soignant à mieux gérer la pandémie et adhérer au respect des mesures de prévention.

- Etapes d'élaboration du Guide

Notre équipe a adopté une méthodologie d'élaboration standard du guide:

On a commencé par la détermination des besoins du personnel soignant, établir la liste des points à problèmes sur la base des questions qui reviennent fréquemment aux hygiénistes.

Par la suite une recherche documentaire a été effectuée et une première version a été rédigée sur la base des nouvelles recommandations et les références scientifiques exigées locales nationales et internationales.

Après notre équipe a procédé à la révision de la version préliminaire du guide, s'assurer que son contenu répond à chacun des objectifs et les questions des soignants.

Après le guide a été soumis à des personnes travaillant dans les services de covid afin d'obtenir un consensus interdisciplinaire.

Ensuite le document a été soumis, approuvé par le directeur de l'établissement et le comité scientifique du Covid 19, par la suite il a été envoyé au service de communication pour l'impression.

La diffusion a été effectuée auprès de tous les services impliqués dans la prise en charge des malades covid-19.

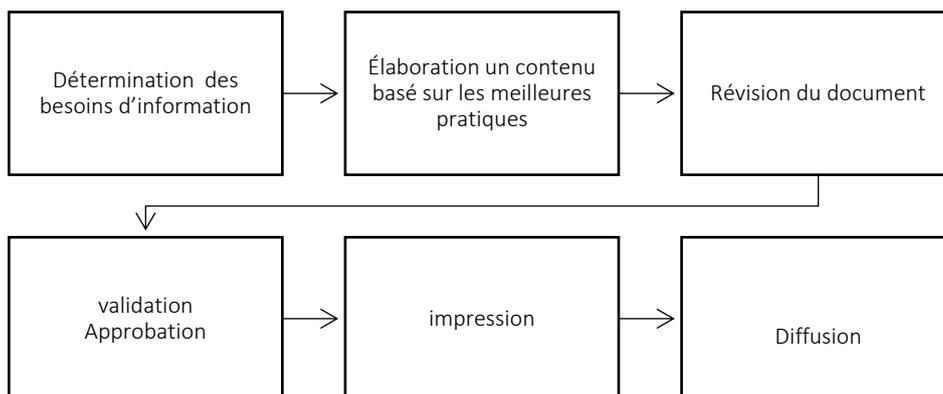


Fig. 4. Etapes élaboration du Guide de bonne Pratiques "Covid-19"

C'est un support de communication pratique et illustré de façon à rendre très visuel le processus de mise en place, il fournit des recommandations visant à préserver la santé et la sécurité des professionnels de santé et des patients pendant la crise.

Le Guide contient 15 procédures et fiches pratiques sur les précautions à prendre lors de la prise en charge des patients suspects ou atteints de la COVID-19.

Les domaines d'activités abordés étaient: (organisation des soins, désinfection du matériel et des surfaces, tenue de protection des soignants).

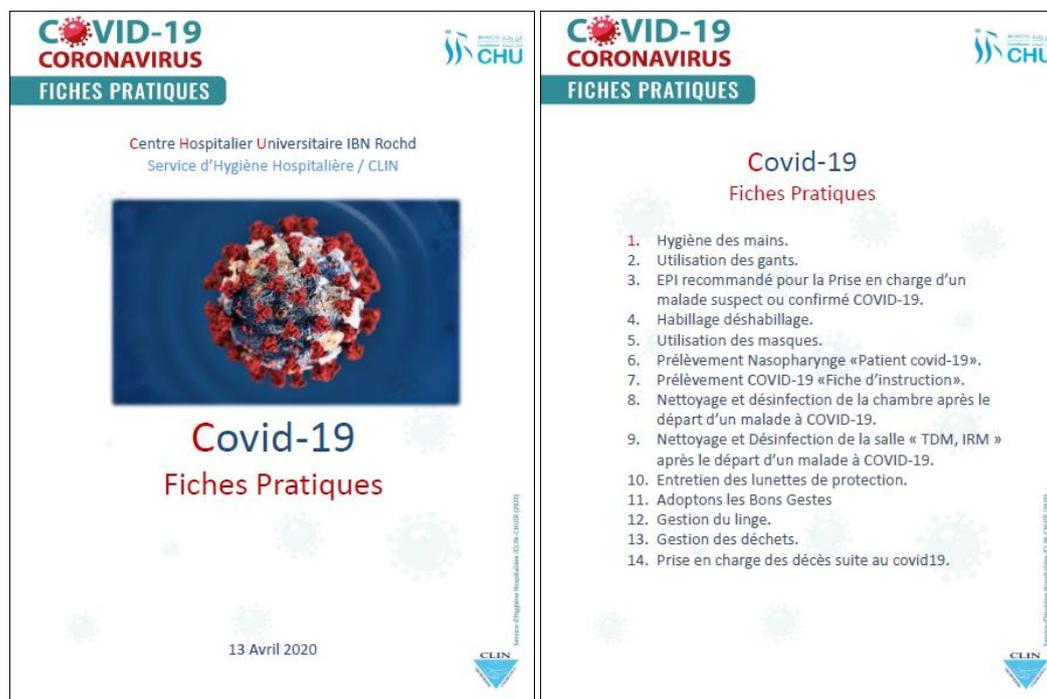


Fig. 5. Guide de bonne Pratiques "Covid-19"

3.3. FORMATION DU PERSONNEL

L'un des principaux enjeux dans la gestion de cette crise était de bien faire passer les informations de façon à ce que chaque professionnel ait un niveau de connaissance suffisant pour ne pas s'exposer à un risque de contamination et que les précautions adaptées soient mises en œuvre. Cela nous a demandé d'être présents au quotidien auprès des équipes des différents services de soins pour réajuster les pratiques si besoin, répondre aux interrogations et parfois aux inquiétudes.

Un contenu pédagogique a été préparé et validé par notre équipe en s'appuyant sur le support de communication pratique élaboré, les principaux thèmes en relation avec: les mesures de protection, erreurs, actualités, réponses aux questions, habillage et déshabillage, Prélèvement Rhino-Pharyngé ...).

La plupart des formations ont été adaptées au secteur d'activité: radiologie, laboratoire, bloc opératoire et les services d'hospitalisation des malades et réalisées directement au sein de leur service et afin de favoriser la mémorisation de soignant.

Les sessions de formation durent 25/30 minutes plusieurs méthodes et technique ont été utilisées afin de mettre le soignant au cœur de son apprentissage. Une alternance des différentes méthodes (active, démonstrative, interrogative et mise en situation) ont été adoptées lors des animations de séquences de formation.

La formation a touché tous les services impliqués dans la prise en charge d'un malade COVID-19: administration, réanimation, radiologie, laboratoire, services cliniques, morgue, SAMU.) Et toutes les catégories professionnelles (Infirmiers, Médecins, techniciens de santé, administrateurs, agents de services, agents des sociétés sous-traitées (bionettoyage, gestion des déchets, sécurité....).

En 2020 Au moins 828 personnes ont été touchées par la formation :

Etablissement	Nombre	%
Hôpital 1	566	68 %
Hôpital 2	148	18 %
Hôpital 3	86	11 %
Hôpital 4	28	03 %
Total	828	100%

3.4. NETTOYAGE ET DÉSINFECTION

5043 Opérations de désinfection après le passage d'un cas suspect ou confirmé COVID-19 ont été coordonnées par l'équipe opérationnelle d'hygiène. Les données relatives à ces actions sont résumées dans le tableau suivant:

Formation	Jour	Nuit
Hôpital 1	3071	1214
Hôpital 2	411	145
Hôpital 3	202	
Total	5043	

La mission des hygiénistes consistait essentiellement à Recevoir les demandes des services et à répondre dans l'urgence à leurs besoins, mettre à la disposition des agents chargés de la désinfection les produits et les EPI et Coordonner les demandes des services en matière des opérations de désinfection des surfaces par voie aérienne (DSVA).

Notre équipe a également encadré les personnes chargées des actions de désinfection des locaux, équipements, circuits et cercueils de l'ensemble des décès Covid-19.

4. DISCUSSION

La COVID-19 a constitué par son ampleur et sa médiatisation, à la fois un risque, une urgence et un problème de santé publique majeur. C'est une menace épidémiologique ayant rempli tous les critères de la crise sanitaire [14].

La première approche efficace pour faire face à cette crise est d'avoir une équipe dynamique, pluridisciplinaire et bien structurée, en établissant les stratégies, les outils de gestion en lien avec la pandémie du Covid-19 [15].

Notre équipe s'est engagée dans l'urgence pour répondre aux besoins des patients et les soignants dans un contexte de forte pression. C'est en quelque sorte l'un des points de départ fort, et un facteur clé du succès dans notre contexte hospitalier.

Quelles étaient les principales difficultés:

Dans tous les pays, quel que soit le retentissement réel que cette épidémie aura engendré, quel que soit le niveau de préparation de son système de soins, un certain nombre de constats mériteraient d'être partagés:

C'était une nouvelle maladie non connue, ni dans son évolution, ni le protocole de prise en charge thérapeutique. Une maladie provoquant un syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) dont l'issue était inconnue.

Les mesures de prévention étaient inconnues, Au fil du temps, des protocoles ont dû être adaptés en fonction de l'évolution des connaissances, notamment pour les équipements de protection individuelle. En fait, il était difficile de s'adapter aux recommandations qui évoluaient sans cesse, nous avions une masse d'informations à lire et à analyser et ce qui était vrai un jour ne l'était plus le lendemain. Rien n'était figé, ce qui nous demandait une adaptation permanente [16].

De plus, la médiatisation de la crise ne nous a pas forcément rendu service, car les informations étaient souvent en contradiction avec les procédures et les préconisations que nous devons mettre en place sur le terrain. Les professionnels étaient perdus, angoissés devant ces informations contradictoires. [17]

En termes d'impact, nous avons relevé une augmentation de la charge de travail. Nous étions parfois disponibles le weekend, avec des permanences téléphoniques, car justement les établissements étaient submergés, une forte demande de la part des services cliniques pour les opérations de désinfection notamment en cas de décès.

Le nombre de personnel et leur famille à dépister par jour était très élevé aussi avec une pression excessive exercée par l'équipe pour feed back des résultats.

Plusieurs études [18], [19] ont montré l'augmentation de l'anxiété et l'impact psychologique important de la pandémie de COVID-19 sur le personnel soignant.

La peur de contamination a entraîné une « exagération » des mesures sanitaires, une utilisation excessive des moyens de protection individuelle, ce qui oblige souvent l'équipe à se déplacer aux services pour gérer la panique, rationaliser l'utilisation des équipements.

Un autre élément c'est que plusieurs unités dédiées Covid-19 ont été créées, beaucoup de services ont multiplié leurs lits de réanimation, ce qui a beaucoup mobilisé l'EOH afin de les accompagner dans une réorganisation souvent profonde de leur fonctionnement.

s'ajoute à cela la forte demande des chefs de service ou de directeurs qui se préparent à affronter la crise et recherchent des conseils et des sessions de formation théorique et pratique pour leurs équipes, une activité souvent pénible et fatigante pour les hygiénistes.

Malgré ces difficultés, des améliorations ont été apportées au fur et à mesure de l'évolution de la pandémie.

Les retombées positives: l'autre côté de la médaille!

Très peu d'études se sont consacrées à l'analyse des bénéfices post pandémie. Les aspects positifs qui peuvent découler de cette pandémie diverses:

Le premier par rapport au personnel infirmier et l'ensemble des professionnels de la santé en première ligne du combat contre le Covid-19.

Un hommage, une reconnaissance et un respect mondial mérité pour tous les efforts déployés et les sacrifices personnels. L'OMS a même désigné 2020 comme année des infirmières pour reconnaître leurs efforts à l'échelle mondiale.

Le 2^{ème} point par rapport à notre spécialité (Hygiène Hospitalière et prévention du risque infectieux) qu'a connue une grande reconnaissance de la part de la population, personnel soignant, et mêmes les décideurs politiques.

Le mot « hygiène » «mesures d'hygiènes» ont été largement cité discuté, plusieurs conférences, une forte demande d'informations par rapport à ce nouveau virus.

Même au niveau d'hôpital, notre équipe a été trop sollicitée, par les directeurs, les chefs de départements et même les soignants. C'était même une occasion pour certains soignants de visiter pour la première fois notre service, rencontrer notre équipe opérationnelle d'hygiène. Cette situation reflète à la fois le besoin d'information sur ce nouveau virus et les mesures de protection.

Un autre élément c'est que la communication au sein de notre l'équipe a été consolidée, les échanges ont été favorisés, plusieurs protocoles et fiches techniques ont été rédigés et actualisés, des nouvelles procédures ont été instaurées

Au niveau des services cliniques, toutes les unités covid 19 ont été innovées, équipées, un système de traitement de l'air a été instauré pour tous les services impliqués dans la prise en charge des malades covid 19.

Le covid a contribué également d'avoir des services et des salles de soins propres, plus sécuritaires, plus sains.

Le personnel soignant a observé des changements par rapport à la disponibilité des équipements de protection individuelle et produits (SHA, Désinfectants, EPI).

Un autre point très important c'est que le comportement du personnel soignant a été changé, le respect de strictes règles d'hygiène, de protection individuelle a été adopté pour tous les soignants, une nouvelle réflexion sur leur façon de soigner et de prendre en charge un malade a été discutés.

Comme observé dans d'autres études [20], [21], nous avons également constaté une diminution de l'incidence de différents types d'infections nosocomiales pendant la pandémie de COVID-19. Il est possible que cette diminution soit liée aux aspects positifs et aux bénéfices de la pandémie, le port généralisé du masque chirurgical par le personnel soignant et par les patients ainsi que l'augmentation de l'observance de l'hygiène des mains et de l'utilisation des solutions hydro-alcooliques.

5. CONCLUSION

COVID-19 a eu un impact considérable sur les activités de notre service. L'étroite collaboration de l'équipe a prouvé son importance et son efficacité pour répondre aux contraintes, apporter une aide et une plus-value à tous les professionnels de santé.

Cette expérience a montré également la capacité pour adapter l'activité selon la progression de la pandémie et répondre à la mission de notre service celle de la prévention du risque infectieux.

REFERENCES

- [1] Organization WH. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19—11 March 2020. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-11-march-2020>. 2020.
- [2] Woolliscroft JO. Innovation in Response to the COVID-19 Pandemic Crisis. *Academic medicine: journal of the Association of American Medical Colleges*. 2020; <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000003402> PMID: 32282372.
- [3] Organization WH. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19—3 April 2020. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-3-april-2020>. 2020.
- [4] Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet Infectious diseases*. 2020; 20 (5): 533–4. Epub 2020/02/23. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1) PMID: 32087114.
- [5] Nkengasong J. China's response to a novel coronavirus stands in stark contrast to the 2002 SARS outbreak response. *Nat Med*. 2020; 26: 310–311. DOI: 10.1038/s41591-020-0771-1. [Article PMC gratuit], [PubMed], [CrossRef], [Google Scholar].
- [6] World Health Organization (WHO). Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) 2020 [cited 2020 1 March]. Available from: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>.
- [7] Istituto Superiore di Sanita' (ISS). Sorveglianza Integrata COVID-19 in Italia 2020 [updated 26 March 2020; cited 2020 26 March]. Available from: https://www.epicentro.iss.it/coronavirus/bollettino/Infografica_26marzo%20ITA.pdf.
- [8] Nguyen LH, Drew DA, Joshi AD, Guo CG, Ma W, Mehta RS, et al. Risk of COVID-19 among frontline healthcare workers and the general community: a prospective cohort study. *medRxiv*. 2020 May 25: 2020.04.29.20084111.
- [9] Chaouki Mrazguia et al. L'infection par le COVID-19 chez le personnel de santé à l'Hôpital Régional de Nabeul: épidémiologie et circonstances de transmission. *PAMJ - One Health*. 2021; 4: 11. [doi: 10.11604/pamj-oh.2021.4.11.27891].
- [10] Chersich MF, Gray G, Fairlie L, Eichbaum Q, Mayhew S, Allwood B et al. COVID-19 in Africa: care and protection for frontline healthcare workers. *Global Health*. 15 mai 2020; 16 (1): 46. PubMed | Google Scholar.
- [11] Jazieh, A.R. & Kozlakidis, Z. (2020). Healthcare Transformation in the Post-Coronavirus Pandemic Era. *Frontiers in Medicine*, 7, 429-429. doi: 10.3389/fmed.2020.00429.
- [12] American Nurses Association. *Public Health Nursing 2020*. <https://www.nursingworld.org/practice-policy/workforce/public-health-nursing/> Accessed April 26, 2020.
- [13] World Health Organization (WHO). *State of the World's Nursing Report 2020*. <https://www.who.int/publications-detail/nursing-report-2020> Accessed April 26, 2020.
- [14] CDC. *Crisis and emergency risk communication*. 2004e éd.
- [15] Paget, C., Arioli, S., Grillet, C., Morel, E., Lannou, L., Moreau, G., Pellarin, I., Flattres, S., & Rica, F. (2020). Rôle de l'infirmière et du cadre infirmier lors de la mise en place urgente d'une équipe de dépistage autour d'un cluster de coronavirus. *Medecine et Maladies Infectieuses*, 50 (6), S211–S212. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2020.06.475>.
- [16] Bragazzi N.L., Mansour M., Bonsignore A., Ciliberti R. The role of hospital and community pharmacists in the management of COVID-19: towards an expanded definition of the roles, responsibilities, and duties of the pharmacist. *Pharmacy*. 2020; 8 (3): 140. [Article PMC gratuit], [PubMed], [Google Scholar].
- [17] Ouharzoune Y. (2020). Covid-19, quelle information et quelle communication en période d'incertitude ?. *Revue Francophone Internationale de Recherche Infirmière*, 6 (4), 100211. <https://doi.org/10.1016/j.refiri.2020.100211>.
- [18] Luceño-Moreno L, Talavera-Velasco B, García-Albuérne Y, Martín-García. Symptoms of posttraumatic stress, anxiety, depression, levels of resilience and burnout in spanish health personnel during the COVID-19 Pandemic. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17 (15): 5514 [Article PMC gratuit], [PubMed].
- [19] Greenberg N., Docherty M., Gnanapragasam S., Wessely S. Managing mental health challenges faced by healthcare workers during Covid-19 pandemic. *BMJ*. 2020; 368: m1211. [PubMed], [Google Scholar].

- [20] Cole, J., & Barnard, E. (2021). The impact of the COVID-19 pandemic on healthcare acquired infections with multidrug resistant organisms. *American journal of infection control*, 49 (5), 653–654. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.09.013>.
- [21] Wee, L., Conceicao, E. P., Tan, J. Y., Magesparan, K. D., Amin, I., Ismail, B., Toh, H. X., Jin, P., Zhang, J., Wee, E., Ong, S., Lee, G., Wang, A. E., How, M., Tan, K. Y., Lee, L. C., Phoon, P. C., Yang, Y., Aung, M. K., Sim, X., ... Ling, M. L. (2021). Unintended consequences of infection prevention and control measures during COVID-19 pandemic. *American journal of infection control*, 49 (4), 469–477. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.10.019>.

Fluctuations de la pollution électromagnétique dans les environs des habitations sous les lignes très haute tension de la ville de Kinshasa

[Fluctuations of electromagnetic pollution in the vicinity of dwellings under very high voltage lines in the city of Kinshasa]

Crispin Ngoma Buveka, Willy Mulumba Mayaudi, and Joseph Cimbela Kabongo

Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences, Département de Physique et des Sciences Appliquées, RD Congo

Copyright © 2022 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 world is becoming increasingly industrialized, technological revolution and innovation are proceeding at prodigious speeds, so that the number and diversity of electromagnetic (EMF) sources have increased significantly. Electricity has made our lives richer, safer and easier, but the transmission lines that carry it pose some health risks to the people who live around it due to the EMF they generate. Research was undertaken in 2015 to obtain information on the people living near these lines in the residential area of Kinshasa city. To this end, Magnetic Field (MF) measurements carried out there in 2015 and repeated in 2020 indicate that the average MF has increased over 5 years, notably in the axis of the line, notably from $(0.673 \pm 0.030) \mu\text{T}$ to $(1.321 \pm 0.115) \mu\text{T}$ at Limete, $(0.753 \pm 0.052) \mu\text{T}$ to $(1.091 \pm 0.073) \mu\text{T}$ at Selembao and $(1.017 \pm 0.095) \mu\text{T}$ to $(1.342 \pm 0.102) \mu\text{T}$ at Bandalungwa. All these averages found in 2020 are increasingly above the threshold value of $0.400 \mu\text{T}$.

KEYWORDS: Extremely low frequency magnetic field, exposure, very high voltage line, standard, pathologies.

RESUME: Le monde s'industrialise chaque jour davantage, la révolution et l'innovation technologiques se poursuivent à des vitesses prodigieuses de sorte que le nombre et la diversité des sources électromagnétiques se sont sensiblement accrues. L'électricité a rendu nos vies plus riches, plus sûres et plus faciles mais les lignes de transport qui la transportent représentent quelques risques pour la santé des habitants qui vivent aux alentours en raison des Champs Magnétiques (CM) qu'elles génèrent. Des recherches ont été entreprises en 2015 pour obtenir des informations sur les personnes qui vivent à proximité de ces lignes dans la zone résidentielle de la ville de Kinshasa. A cet effet, des mesures de CM y effectuées en 2015 puis répétées en 2020 indiquent que les moyennes de ces CM ont augmenté en 5 ans, passant notamment, dans l'axe de la ligne, de $(0.673 \pm 0.030) \mu\text{T}$ à $(1.321 \pm 0.115) \mu\text{T}$ à Limete, $(0.753 \pm 0.052) \mu\text{T}$ à $(1.091 \pm 0.073) \mu\text{T}$ à Selembao et $(1.017 \pm 0.095) \mu\text{T}$ à $(1.342 \pm 0.102) \mu\text{T}$ à Bandalungwa.

MOTS-CLEFS: Champ magnétique d'extrêmement basse fréquence, exposition, ligne très haute tension, norme, pathologies.

1 INTRODUCTION

La croissance consécutive à l'industrialisation du monde s'accompagne des effets négatifs sur l'environnement, en rapport avec des risques sanitaires (Semelle, 1992). On estime que plus d'un milliard de personnes ne sont pas convenablement logées, mettant en péril la santé et la vie de plusieurs femmes enceintes et enfants (Mavudila and Ngoma, 2018). De tous temps, la Terre baigne dans une mer de CEM naturels (Repacholi, 1983) mais au cours du 20ème siècle, cet environnement naturel a radicalement changé avec l'introduction d'un large éventail croissant de CEM artificiels (Hoang, 2007; Ngoma, 2018). Si

d'aucuns considèrent l'électricité comme un générateur d'emplois, d'amélioration de la qualité de la vie il se pose depuis quelques décennies la question de possibles effets indésirables sur la santé en relation avec les CE et CM dus à la production, le transport et l'utilisation de l'électricité (Kheifets et al., 2006).

Les lignes de transmission d'électricité et les CEM ELF qu'elles génèrent représentent une menace pour la sécurité d'occupation (Semelle, 1992) car elles provoquent une puissance induite qui pénètre complètement dans le corps (Hoang, 2007). Dans la ville de Kinshasa, les maisons sont adjacentes aux lignes à Très Haute Tension (THT) et les gens vivent dans l'axe même de ces lignes. Depuis les études de Weithermer et Leeper (1979), un grand nombre de ces publications ont incriminé la configuration des lignes dans l'apparition de leucémies chez les enfants (Fulton et al., 1980). D'autres rapports font état de tumeurs cérébrales professionnelles (Draper et al., 2005), de mortalité chez les personnes vivant le long des lignes de transmission (Pearce et al., 1985) et de tumeurs du système nerveux (Rodvall, 1985).

Depuis quelques années, des études ont permis d'observer, dans des situations d'exposition aux CM, les performances cardiovasculaires des mammifères proches de l'homme (Gafey and al., 1980) et le constat dans certains cas des effets subtils sur la fréquence cardiaque qui entraîneraient des arythmies et une tachycardie à haute tension (Jauchem, 1997). Les études du comportement sous l'effet des CM, particulièrement celles à base de mesures comportementales, ont révélé une variation de la force de la mémoire sous l'effet des CM et un dysfonctionnement des réactions comportementales, une modification du temps de réaction des personnes exposées à des CM (Davis and al., 1984) mais aussi une corrélation significative entre les lieux de suicide et l'intensité du CM, beaucoup plus de suicides s'étant produits dans des endroits à fort CM (Smith, 1982). On sait aussi aujourd'hui que le système nerveux central joue un rôle important dans les réactions des organismes aux CMS et beaucoup d'études montrent l'incidence des CM sur le système nerveux central ainsi que sur les troubles du comportement (Medvedev, Urazaev and Kulakov, 1976).

Étant donné que des CM très intenses peuvent influencer la fertilité et la reproduction et quoi que des effets biomagnétiques des CM faibles soient mineurs, des études sont menées pour s'assurer des effets de tels champs sur la croissance ou la fertilité et leurs résultats sont utilisés pour mettre à jour les normes notamment en matière de reproduction (Nakagawa, 1979). Il a d'autre part été rapporté des effets de CEM sur le système circulatoire, particulièrement sur la vitesse du sang dans l'aorte (Tokagawa and al., 1967); mais aussi le fait que ces CEM altèrent l'acuité visuelle allant jusqu'à la manifestation de magnétosphènes pour des valeurs allant de 2 et 10 μT en fonction des fréquences (Lovsund et al., 1980).

Les intensités des CM générés par diverses sources alternatives peuvent atteindre de valeurs élevées et détériorent la qualité de l'environnement, ce qui appelle à la fixation de normes d'exposition (Lagroye, 2009). A cet effet, chaque pays édicte ses normes dont les limites d'exposition s'appuient sur les recommandations du CIPRNI qui retiennent une valeur moyenne de 0.400 μT pour de nombreux pays (Courreau 2013, Singh and Kapoor 2014). Les écoles, particulièrement les crèches, ainsi que les centres hospitaliers figurent au nombre de milieux sensibles (Raoul, 2010).

L'avènement du Développement durable encourage la réduction de l'utilisation des énergies fossiles et leur remplacement par des ENR à l'instar de l'Allemagne et la France qui ont respectivement contracté avec des pays du Maghreb en vue d'utiliser le potentiel solaire du Sahara et d'acheminer l'énergie y produite vers les utilisateurs de l'Europe centrale (Walter et Bosh, 2015). D'autre part, la Chine investit massivement dans les réseaux à UHT à l'échelle tant nationale qu'internationale par le biais du projet GEI qui vise à construire un réseau interconnecté à l'échelle mondiale alimenté par des sources renouvelables qui viseraient à assurer à l'horizon 2070 une interconnexion intercontinentale avec plus de capacités estimées à 1.25 Tw (L'EnerGEEK, 2018).

L'Afrique est ainsi à n'en point douter, au cœur des convoitises des grandes puissances non seulement pour ses ressources minières et fossiles mais aussi et surtout, dans le contexte de cette transition énergétique, de son énorme potentiel en ENR. A ce titre, elle représente un vivier important d'où partiront, dans les années à venir, des milliers de km de lignes intercontinentales UHT, pour les besoins de consommateurs de tous les continents (Gendron and Ahajjan 2020), les CM ainsi générés constitueront, si on ne prend garde, un problème de santé publique.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

La ville de Kinshasa, la capitale de la RD Congo, est située à 281 m d'altitude sur le bord côté ouest du fleuve Congo au niveau du Pool Malebo. Ses coordonnées géodésiques sont respectivement 4°19'39" Sud et 15°18'48" Est (Ngoma, 2018). Sa superficie de 9 965 km² fait d'elle la plus grande ville de la RD Congo et l'une des plus importantes mégapoles du monde. Sa population est estimée à un peu plus de 12 millions d'habitants. Kinshasa forme une entité administrative à statut particulier;

elle joue le rôle de centre administratif, économique, politique et culturel de la RD Congo. La ville est organisée en 24 communes dont la partie urbaine s'étend sur environ 600 km^2 .

Cette étude concerne les 7 communes de la ville de Kinshasa qui sont traversées par les lignes THT. Si la plupart des habitations sont construites en dur sur un sol sablonneux, elles ne répondent pas dans la plupart de cas aux normes d'un habitat convenable au regard de leurs localisations vis-à-vis de ces lignes.

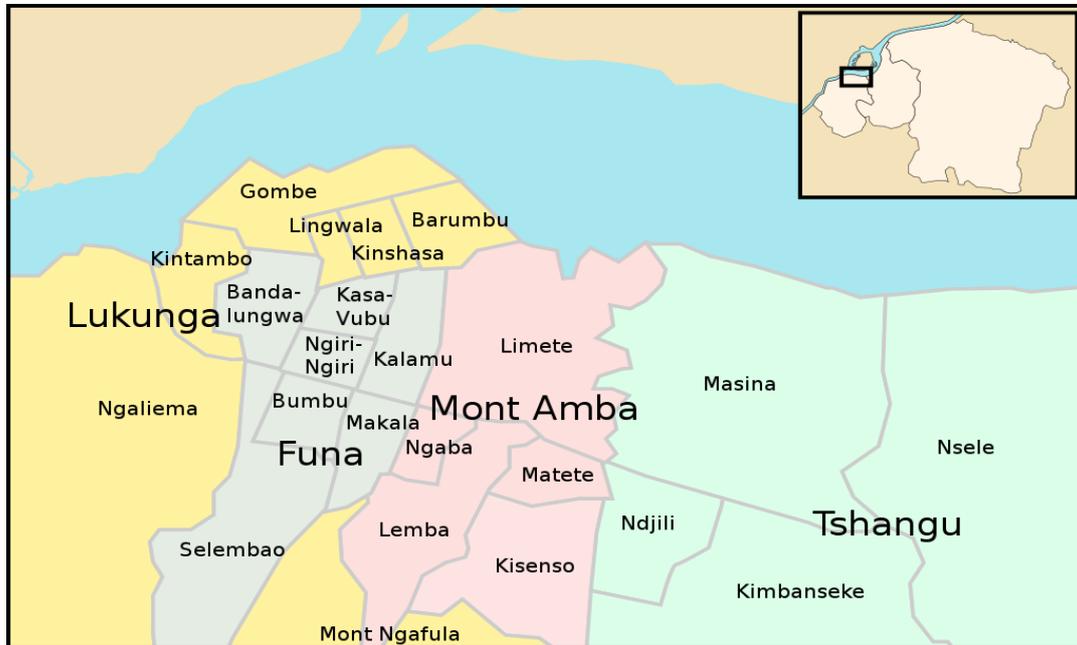


Fig. 1. Carte de la ville de Kinshasa. Les 7 communes (Ngalima, Mont Ngafula, Bandalungwa, Selembao, Limete, Kisenso et Matete) y sont indiquées par des flèches

2.2 MATÉRIELS

Nous avons alternativement Un « ME 3030B M/E Analyser » tri directionnel et Un « Magnetic Field Meter TM 191 » unidirectionnel pour mesurer respectivement les champs de moins de $2 \mu T$ et de plus de $2 \mu T$, le GPS MAP T8 de marque GARMIN pour la géo localisation, pour les calculs des moyennes et erreurs nous avons utilisé Qbasic ainsi que Matlab pour les graphiques. La figure 8 ci-après présente les appareils qui ont été utilisés pour les mesures.



Fig. 2. De gauche à droite: Le téléphone SAMSUNG J CORE, l'analyseur de fréquence TENMARS et l'analyseur de fréquences GIGAHERTZ

2.3 MÉTHODE

On a utilisé des analyseurs de fréquence dont un « ME 3030B M/E-Analyser » tri directionnel et un « Magnetic Field Meter TM 191 » unidirectionnel pour mesurer respectivement les champs de moins de $2.000 \mu T$ et ceux de plus de $2.000 \mu T$. Pour les

coordonnées géographiques on a respectivement utilisé un GPS Garmin. Pour l'analyse des données, nous avons simultanément utilisé les logiciels Matlab et QBasic.

Les mesures de CM de 2015 étaient limitées à 4 communes alors que celles de 2019 ont concerné 7 communes. La comparaison des CM qui est faite dans cette étude concerne les 4 communes qui reviennent dans les deux études.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

Le terme série qui accompagne les figures ci-dessous, utilisé en tant que tel pour raison de commodité, représente en réalité une habitation

3.1.1 MESURES DANS LA COMMUNE DE MATETE EN 2015 ET 2020

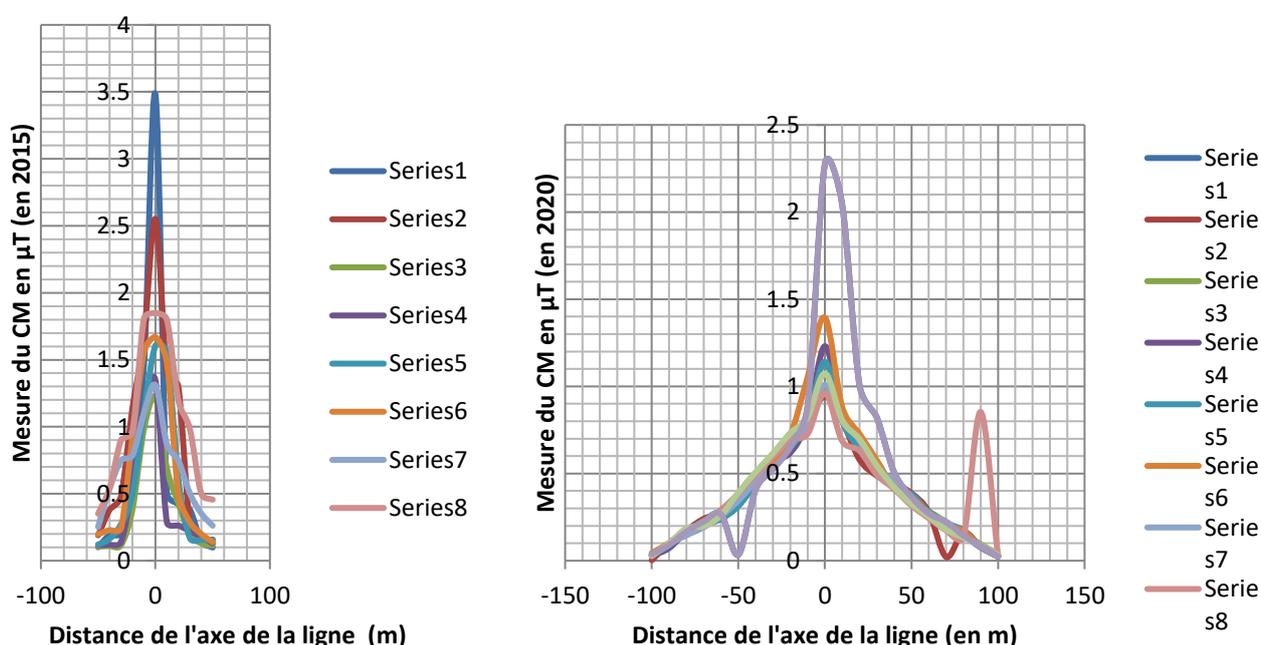


Fig. 3. Graphiques des CM en 2015 à gauche et en 2020 à droite (commune de Matete)

3.1.2 MESURES DANS LA COMMUNE DE LIMETE 2015 ET 2020

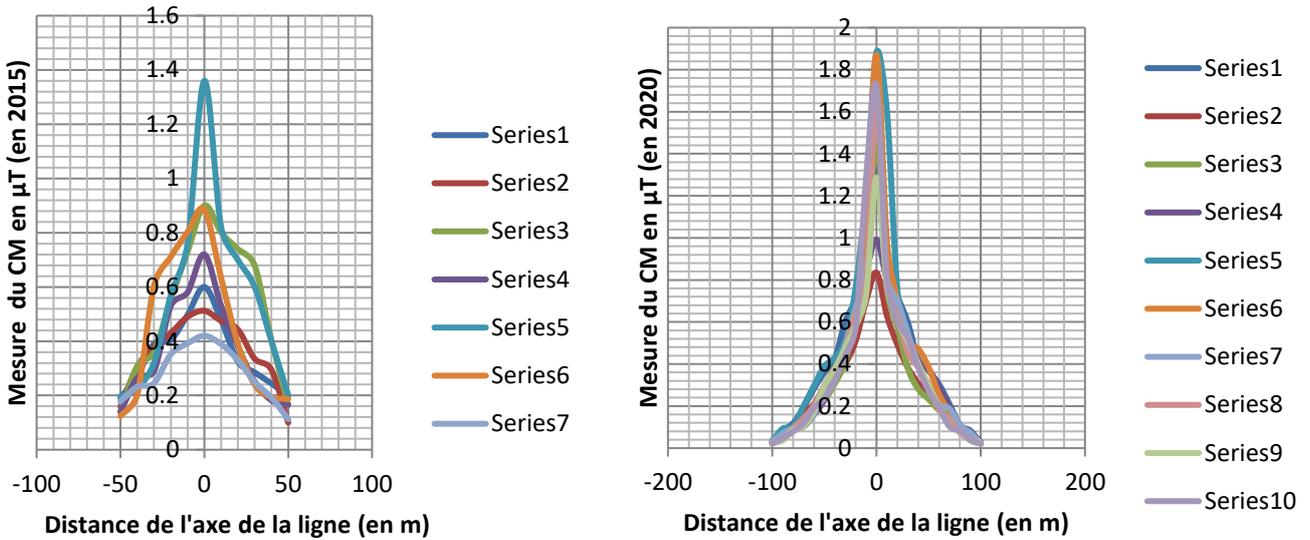


Fig. 4. Graphiques des CM en 2015 à gauche et en 2020 à droite (commune de Limete)

3.1.3 MESURES DANS LA COMMUNE DE SELEMBAO 2015 ET 2020

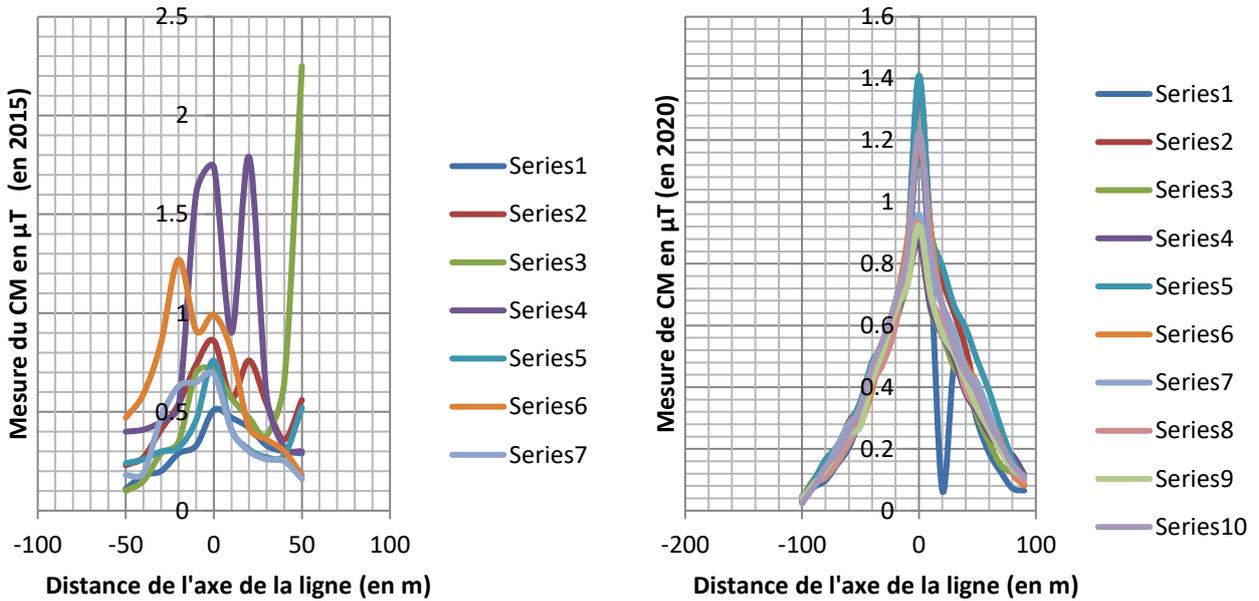


Fig. 5. Graphiques des CM en 2015 à gauche et en 2020 à droite (commune de Selembao)

3.1.4 MESURES DANS LA COMMUNE DE BANDALUNGWA

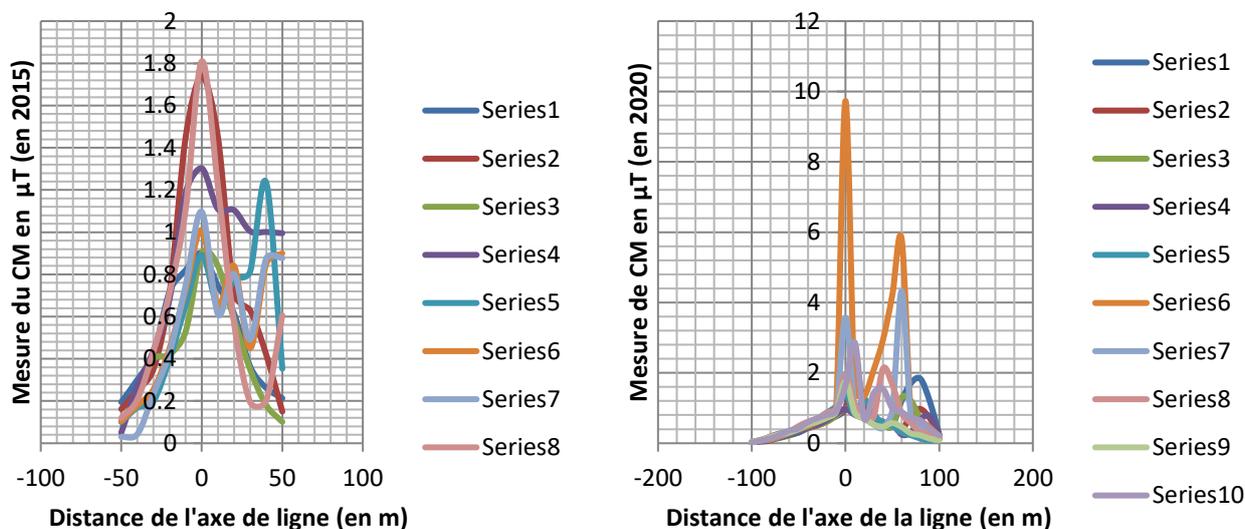


Fig. 6. Graphiques des CM en 2015 à gauche et en 2020 à droite (commune de Bandalungwa)

3.2 DISCUSSION

3.2.1 DANS LA COMMUNE DE MATETE

En ce qui concerne la commune de Matete, Les tendances relevées par Ngoma entre 2015 et 2020 montrent que les moyennes des intensités des CM sont respectivement comprises dans l'intervalle $[1.21; 3.48] \mu T$ avec une moyenne de $(1.4651 \pm 0.1254) \mu T$ (Ngoma, 2018) alors que pour 2020 ces valeurs appartiennent à l'intervalle $[0.9430; 2.2753] \mu T$ avec une moyenne de $(1.0910 \pm 0.0971) \mu T$. On constate aussi qu'à 50m de la ligne, les valeurs des CM appartiennent respectivement aux intervalles $[0.2801; 0.4560] \mu T$ avec une moyenne de $(0.1103 \pm 0.0074) \mu T$ et $[0.3172; 0.3873] \mu T$ avec une moyenne de $(0.3528 \pm 0.0205) \mu T$. Dans cette commune, les travaux de Ngoma (2018) ont établi une occurrence de la leucémie supérieure aux statistiques nationales, une pathologie qui avait été rapportée par Coleman et al. (1985).

3.2.2 DANS LA COMMUNE DE LIMETE

Pour le cas de la commune de Limete, les valeurs des CM dans l'axe de la ligne sont comprises, pour l'année 2015, dans l'intervalle $[0.4203; 1.3602] \mu T$ (Ngoma 2018) avec une moyenne de $(0.6728 \pm 0.0631) \mu T$ (Mavudila et Ngoma 2018) alors que pour 2020 ces valeurs sont incluses dans l'intervalle $[0.8311; 1.8827] \mu T$ avec une moyenne de $(1.3211 \pm 0.0785) \mu T$.

On voit que les tendances entre 2015 et 2020, montrent que les moyennes des CM dans l'axe de la ligne ont respectivement connu un accroissement de près de 96.4 % et d'autre part il a été observé un accroissement des pics dans l'axe de la ligne de l'ordre de 38.4%. A 50m de la ligne, les valeurs des CM appartiennent respectivement aux intervalles $[0.1004; 0.1873] \mu T$ avec une moyenne de $(0.1639 \pm 0.0144) \mu T$ (Mavudila et Ngoma 2018) et $[0.2327; 0.3847] \mu T$ avec une moyenne de $(0.2748 \pm 0.0152) \mu T$. On peut observer qu'à 50 m de la ligne cet accroissement est de 44. % et les travaux de Ngoma (2018) ont établi une occurrence des troubles du comportement plus importante que les statistiques nationales en accord avec Philips et Kaune (1977).

3.2.3 DANS LA COMMUNE DE SELEMBAO

Dans la commune de Selembao, les valeurs des CM dans l'axe de la ligne se retrouvent, pour l'année 2015, dans l'intervalle $[0.5147; 1.7402] \mu T$ avec une moyenne de $(0.7533 \pm 0.0571) \mu T$ alors que pour 2020 ces valeurs sont incluses dans l'intervalle $[0.8311; 1.8827] \mu T$ avec une moyenne de $(0.8705 \pm 0.0753) \mu T$. On voit que les tendances entre 2015 et 2020, montrent que les moyennes des CM dans l'axe de la ligne ont respectivement connu un accroissement de près 15.6 % à

Selembao. A 50m de la ligne, les valeurs des CM appartiennent respectivement aux intervalles $[0.1614; 0.1873] \mu T$ avec une moyenne de $(0.3425 \pm 0.0305) \mu T$ et $[0.2870; 0.4853] \mu T$ avec une moyenne de $(0.3303 \pm 0.0324) \mu T$.

D'autre part il a été observé un accroissement des pics dans l'axe de la ligne de l'ordre de 8.2 % à Selembao. Par ailleurs, tout comme à Limete et Bandalungwa, les accroissements observés dans l'axe de la ligne à Selembao sont préoccupantes eu égard au constat de l'occurrence de certaines pathologies qui y ont été constatées (Raoul 2010) et que de nombreuses études attribuent aux CM (Irigary and al. 2007).

3.2.4 DANS LA COMMUNE DE BANDALUNGWA

L'examen des graphiques de la commune de Bandalungwa révèle que les valeurs des CM dans l'axe de la ligne sont contenues, pour l'année 2015, dans l'intervalle $[0.8920; 1.8103] \mu T$ avec une moyenne de $(1.0172 \pm 0.0974) \mu T$ (Mavudila and Ngoma 2018) alors que pour 2020 ces valeurs appartiennent à l'intervalle $[0.9743; 9.7305] \mu T$ avec une moyenne de $(1.3417 \pm 0.1342) \mu T$. A 50m de la ligne, les valeurs des CM appartiennent respectivement aux intervalles $[0.1152; 0.9952] \mu T$ avec une moyenne de $(0.1547 \pm 0.0121) \mu T$ et $[0.4713; 4.2073] \mu T$ avec une moyenne de $(0.5202 \pm 0.0374) \mu T$.

Le pic de 9.7305 μT est très préoccupant parce qu'il affleure les valeurs où apparaissent les phosphènes magnétiques (Lovsund and al. 1980). D'autre part, les accroissements observés principalement dans l'axe de la ligne sont préoccupantes eu égard au constat de l'occurrence de certaines pathologies qui y ont été constatées et que de nombreuses études attribuent aux CM (Schmiedel 2010).

4 CONCLUSION

La ville de Kinshasa se développe à l'emporte-pièce, au mépris de certaines normes urbanistiques, particulièrement le respect des emprises le long des lignes THT. Cette étude a consisté à observer les fluctuations à la hausse des moyennes CM mesurés aux environs des habitations jouxtant les lignes THT de la ville. Ainsi entre 2015 et 2020, il a notamment été établi que les intensités de ces CM ont respectivement connu, dans l'axe de la ligne, un accroissement de près de 96.4 % la commune de Limete même qu'un accroissement des pics de l'ordre de 38.4% et un accroissement de près 15.6 % à Selembao de même qu'un accroissement des pics dans l'axe de l'ordre de 8.2 %. Etant donné qu'il y a été constaté une plus grande occurrence de certaines pathologies dont des troubles de la vue et du comportement, dans un pays qui est pourtant encore très peu électrifié, il faudrait un suivi particulier des études annuelles régulières pour vérifier le maintien (ou non) de la tendance.

REFERENCES

- [1] Coleman, M., Bell, C.M.J., Taylor, H.L., & Thornton-Jones, H. (1985). Leukaemia and electromagnetic fields: a case control study (Paper presented at the International Conference on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology, London, October, 1985).
- [2] Coureau, G., (2013). Effets sanitaires des champs électromagnétiques et tumeurs du système nerveux central, Thèse, Ecole doctorale Sociétés, Politique, Santé Publique, Paris, 255p.
- [3] Davis, H.P., Mizumori, J.Y., Allen, H., Rosenzweig, M.R., Bennett, E.L., & Tenforde, T.S. (1984). Behavioural studies with mice exposed to DC and 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 5: 147-164. <https://doi.org/10.1002/bem.2250050204>.
- [4] Draper G., Vincent T, Kroll M.E, Swanson J., Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *BMJ*. 2005 Jun 4; 330 (7503): 1290. DOI: 10.1136/bmj.330.7503.1290.
- [5] Fulton, J.P., Cobb, S., Preble, L., Leone, L., & Forman, E. (1980), Electrical wiring configurations and childhood leukaemia in Rhode Island. *Am. J. Epidemiol.*, 113 (3): 292-296.
- [6] Gaffey, C.T., Tenforde, T.S., & Dean, E.E. (1980). Alterations in the electrocardiograms of baboons exposed to DC magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 1: 209.
- [7] Gendron, C. et Ahajjan, A., (2020). Transport d'électricité: vers un réseau mondial chinois ?, repéré sur <https://www.energie-plus.com/transport-deelectricite-vers-un-reseau-mondial-chinois/>, (12/12/2020).
- [8] Hoang, L-H., (2007). Contribution à la modélisation tridimensionnelle des interactions champ électromagnétique – corps humain en basses fréquences. *Energie électrique*. Thèse de Doctorat. Ecole Centrale de Lyon, 144p.
- [9] Irigaray P. *and al.*, Lifestyle-related factors and environmental agents causing cancer: an overview., *Biomed Pharmacother*. 2007 Dec; 61 (10): 640-58. doi: 10.1016/j.biopha.2007.10.006. doi: 10.1016/j.biopha.2007.10.006.

- [10] Jauchem, J.R., Exposure to extremely-low frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: Cardiovascular effects in humans, November 1997, International Archives of Occupational and Environmental Health 70 (1): 9-21 DOI: 10.1007/s004200050181.
- [11] Kheifets, L.I. *et al.*, Le principe de précaution et les champs électriques et magnétiques: mise en œuvre et évaluation, Environnement, Risques & Santé – Vol. 5, n° 1, janvier-février 2006.
- [12] Kheifets, L.I. *et al.*, The precautionary principle and electric and magnetic fields: implementation and evaluation, Environment, Risks & Health – Vol. 5, no. 1, January-February 2006. (In French).
- [13] L'EnerGEEK; (2018). Network, Data Sheet; (2018). The different types of power lines (THT, HT, MT, BT), spotted on <https://lenergeek.com/2018/08/10/the-different-types-of-power-lines-tht-ht-mt-bt/>, 202012/11.
- [14] Lagroye, I., (2009). Etude des effets biologiques des champs électromagnétiques non invasifs. Sciences du Vivant [q-bio]. Ecole pratique des hautes études - EPHE PARIS. <tel-00977980> <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00977980/document>, (22 avril 2017).
- [15] Lovsund, P. *et al.*, (1980) Influence on vision of extremely low frequency electromagnetic fields. Acta ophtalmologica, 57: 812-821 (19/9).
- [16] Mavudila R., Ngoma, C. Mesure de l'exposition aux champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence sur des personnes vivant sous les lignes THT dans la ville de Kinshasa, Revue des Sciences Médicales, Vol. n°3, juillet 2018, 91-104.
- [17] Medvedev, M.A., Urazaev, A.M., & Kulakov, I.U.A. (1976). [Effect of a constant and low frequency magnetic field on the behavioural and autonomic responses of the human operator.] Zh. Vyssh. Nerv. Deiat., 26: 1131-1136 (in Russian with English abstract).
- [18] Nakagawa, M. (1979). Effects of magnetic fields on fertility, general reproductive performance and growth of mice. Jpn J. Hyg., 34: 488-495.
- [19] Ngoma C., (2018). Caractérisation de la pollution électromagnétique des lignes Très Haute Tension sur l'environnement des habitations dans la ville de Kinshasa. Centre de Recherche Interdisciplinaire de l'Université Pédagogique Nationale, PUPN, N° 074C Janvier-Mars 2018 37-49.
- [20] Pearce, N.E., Sheppard, R.A., Howard, J.K., Fraser, J., & Lilley, B.M. (1985) Leukaemia in electrical workers in New Zealand. Lancet, 1 (8432): 811-812.
- [21] Phillips, R.D. and Kaune, W.T., (1977). Biological effects of static and low-frequency electromagnetic fields: an overview of united states literature, EPRI EA-490-SR Special Report July 1977 Prepared by BATTELLE Pacific Northwest Laboratories Richland, Washington.
- [22] Phillips, R.D. and Kaune, W.T., (1977). Biological effects of static and low-frequency electromagnetic fields: an overview of united states literature, EPRI EA-490-SR Special Report July 1977 Prepared by BATTELLE Pacific Northwest Laboratories Richland, Washington. <https://doi.org/10.2172/7306613>.
- [23] Raoul, D., (2010). Les effets sur la santé et l'environnement des champs électromagnétiques produits par les lignes à haute et très haute tension; Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Paris, 177p.
- [24] Repacholi, M.H. (1983). Standards on Static and ELF Electric and Magnetic Fields and their Scientific Basis, Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields pp 667-684.
- [25] Repacholi, M.H. (1983). Standards on Static and ELF Electric and Magnetic Fields and their Scientific Basis, Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields pp 667-684.
- [26] L'EnerGEEK, Réseau et Fiche Technique; (2018). Les différents types de lignes électriques (THT, HT, MT, BT), repéré sur <https://lenergeek.com/2018/08/10/les-differents-types-de-lignes-electriques-tht-ht-mt-bt/>, (11/12/2020).
- [27] Rodvall, Y., Feychting, M., & Ahlbom, A. (1985). [Investigation of morbidity from cancers in the Alfta area,] Stockholm, National Institute of Environmental Medicine (in Swedish).
- [28] Schmiedel, S. *et al.*, Spatial clustering and space-time clusters of leukemia among children in Germany, 1987-2007, European Journal of Epidemiology, Vol. 25, No. 9 (2010), pp. 627-633. <https://doi.org/10.1007/s10654-010-9488-7>. Epub 2010 Jul 11.
- [29] Semelle D., (1992). Easy geobiology, New Marabout Editions, Sarthe (France), 158p (In French).
- [30] Semelle D., (1992). La géobiologie facile, Nouvelles Editions Marabout, Sarthe (France), 158p.
- [31] Singh C. and Kapoor N. Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs. Hindawi Publishing Corporation Advances in Biology Volume 2014, Article ID 198609, 24 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/198609>.
- [32] Smith, C.W. (1982). Comments on the paper "Environmental power-frequency magnetic fields and suicide." Health Phys., 43: 439-441.
- [33] Swanson, J.H. and Kheifets, L., Biophysical mechanisms: a component in the weight of evidence for health effects of power-frequency electric and magnetic fields, Published in Radiation research 2006, DOI: 10.1667/RR3522.1.

- [34] Togawa, T., Okai, O., & Oshima, M. (1967). Observation of blood flow EMF in externally applied strong magnetic fields by surface electrodes. *Med. biol. Eng.*, 5: 169-170. [https://doi: 10.1007/BF02474505](https://doi.org/10.1007/BF02474505).
- [35] Walter, K. et Bosch, S.; (2015). Réseau intercontinental d'approvisionnement énergétique - scénario pour un tracé de la ligne de transport électrique de l'Afrique du Nord à l'Europe centrale, vol. 55 / n°1-2 | 2015: Energies renouvelables et territoires: les défis de la transition énergétique en Allemagne, <https://doi.org/10.4000/rge.5447>.
- [36] Wertheimer, N. & Leeper, E. (1979). Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.*, 109 (3): 273-284. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a112681.

