

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 58 N. 1 December 2021



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

Dinámica del fitoplancton en reservorios del noroeste argentino (Salta)	1-7
<i><u>Claudia Nidia Borja, María Mónica Salusso, and Liliana Beatriz Moraña</u></i>	
Desarrollo de software utilizando una metodología ágil desde la perspectiva de los requisitos del usuario	8-17
<i><u>Ana Laura Roman Luna, José Juan Hernández Mora, Higinio Nava Bautista, and Abel Edwin Guarneros Morales</u></i>	
Sistema Acuaponico Automatico	18-25
<i><u>José L. Hernández, Julián M. Rodríguez, Jonny C. Reyes, Aldo R. Vegar, and Samuel C. Castillor</u></i>	
Flore mellifère potentielle du site de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Centre-ouest Côte d'Ivoire): Quel intérêt apicole ?	26-38
<i><u>Siendou Coulibaly, Djaha Kouame, Bernadin Dro, Benedicte Anna Adjua Yeboua, and Moreto Salla</u></i>	
La place de l'expérimentation dans l'apprentissage écologique à l'enseignement primaire	39-48
<i><u>Sofia Rachad and Lahcen Oughdir</u></i>	
Plantes hôtes de Goimbrasia Hecate (Lepidoptera, Saturniidae) dans la zone sahélienne au Mali	49-58
<i><u>Bakary Sagara, Bakary Traore, Fanta Tounkara, Abou Coulibaly, and Amoro Coulibaly</u></i>	
Analyzing Site Suitability for Solid Waste Dumping Through GIS and MCDMHP: A case study of Gazipur City Corporation, Bangladesh	59-68
<i><u>Md. Fazlee Rabhy, Ummeh Saika, and Mohammad Ismail Hossain</u></i>	
Végétation et changement climatique au cours de la transition Crétacé, Paléogène (K, Pg) d'une séquence d'argiles grises de la région d'Eboinda (Sud-Est de la Côte d'Ivoire): Implication palynologique	69-82
<i><u>Kahou Katel Kizito Toe-Bi, Gnosseith Huberson Claver N'Doufou, Koré Elysée Guede, and Zéli Bruno Digbehi</u></i>	
Morphologie et régime alimentaire de la grenouille Hoplobatrachus occipitalis (Gunther, 1858) au Bénin: Un pas essentiel vers son élevage	83-94
<i><u>Lucienne Codjo, E.Y. Attakpa, R.O.E. Pelebe, K.S. Abahi, C.A. Orou-Seko, Z. Sidi Orou Massara, and I. Imorou Toko</u></i>	
Prévalence des bactéries potentiellement pathogènes dans les eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages en commune d'Ibanda	95-104
<i><u>Balumisa Mubolwa Jules, Gabriel Baguma Balagizi, Rwabika Mushengezi Anicet, Munundu Mwangaza Aline, AKSANTI LWANGO, El Kent, Atumishi Mubangu, and Cuhaka Kabagale Alfred</u></i>	

Dinámica del fitoplancton en reservorios del noroeste argentino (Salta)

[Phytoplankton dynamics in reservoirs of northwestern Argentina (Salta)]

Claudia Nidia Borja, María Mónica Salusso, and Liliana Beatriz Moraña

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5150, (4400), Salta, Argentina

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The reservoirs of the province of Salta is characterized by its high level of hypertrophy. Monitoring phytoplankton, would enable prevention and control of water quality. We studied the phytoplankton abundance and structure of three reservoirs in the province: Cabra Corral and El Tunal belonging to the upper basin of Juramento and Campo Alegre of the Bermejo's system during a hydrologic cycle (2007-2009). Sites were considered for the areas of greatest influence lotic and the central deeper. In the reservoirs of the upper basin of the Juramento, species diversity decreased during the dry season because of the greater stability in the water column, unlike the phytoplankton density, which tended to be higher. In these reservoirs highlighted the persistence of Cryptophyta. Dinophyta with *Ceratium hirundinella* as the dominant species, occurred in the three reservoirs in both periods of the hydrologic cycle, in Campo Alegre, was dominant throughout the sample, leading to the lowest values of diversity, richness and evenness. The principal component analysis showed clustering between the sampling sites of each reservoir Campo Alegre differentiating the rest.

KEYWORDS: Reservoirs, water quality, hydrologic cycle, trophic state, microalgae.

1 INTRODUCCIÓN

La obtención de información sobre reservorios distribuidos en una determinada área geográfica puede facilitar un planeamiento regional y el gerenciamiento de las cuencas hidrográficas. Para lo cual es necesario un conocimiento de los principales mecanismos de funcionamiento que ocurren en ellos, de manera comparativa ([1], [2]).

La composición, diversidad y biomasa de las comunidades biológicas pueden ser consideradas como una expresión de las interacciones que ocurren en los reservorios. Consecuentemente, los estudios comparativos posibilitan la introducción de técnicas adecuadas de manejo y control de biomasa [3].

En Argentina las floraciones algales son eventos de frecuente aparición y en algunos sitios, particularmente cuerpos de agua destinados al abastecimiento de agua potable y/o recreación, generan serios inconvenientes. Ocasionando profundas modificaciones relacionadas especialmente con el aumento del proceso de eutrofización, alto consumo de oxígeno, mortandad de peces, olor y sabor desagradables en el agua por aumento de compuestos volátiles, deterioro general en la calidad del agua y problemas operacionales en las plantas potabilizadoras.

Los procesos de eutrofización de los embalses de la provincia de Salta son un reflejo de la calidad del agua aportada por sus tributarios y de las actividades antrópicas que se realizan en las áreas de influencia directa de las cuencas de drenaje. Diversos estudios efectuados en estos reservorios revelan que el estado trófico de los mismos tiende a incrementar en las últimas décadas ([4], [5], [6]).

Teniendo en consideración lo fluctuante e impredecible de los fenómenos de floración y las características -morfométricas y nivel de trofia- que presentan los embalses de la provincia, resulta fundamental el seguimiento del desarrollo del fitoplancton, que permitirá establecer medidas de prevención y control garantizando la calidad del agua para los diferentes usos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El embalse Cabra Corral, se encuentra situado en el Valle de Lerma, a 70 km al sur de la ciudad de Salta. Se constituye en uno de los reservorios de mayor magnitud de Argentina, está destinado a la regulación hiperanual de caudales de la Alta Cuenca del Río Juramento y generación de energía hidroeléctrica entre sus principales usos.

El embalse El Tunal está localizado en el departamento Anta, a 180 km de la ciudad de Salta. Es la segunda construcción hidroeléctrica más importante de la provincia. El volumen acumulado en el embalse se debe un 70% a los aportes provenientes del río Juramento, descargados desde Cabra Corral, y en un 30% a los aportes pluviales. Además de producción energética es utilizado para la pesca deportiva.

El embalse Campo Alegre es parte de la subcuenca del río Mojotoro, que pertenece a la vertiente atlántica a la cual tributa por la cuenca del Bermejo, y tiene como principales usos el recreacional y riego, se constituye además en la única reserva hídrica de cierta magnitud que podría proveer de agua para consumo humano a la ciudad capital y localidades adyacentes [7]. Se encuentra en el departamento La Caldera de la provincia de Salta. Este reservorio está sometido a manejo, siendo el agua extraída para riego durante los meses de estiaje; y a la fecha ya se iniciaron las obras de la nueva planta potabilizadora.

2.2 MUESTREO

Los muestreos en los tres embalses de la provincia de Salta (fig. 1) se efectuaron en ambas épocas del ciclo hidrológico (estiaje y crecidas) entre agosto 2007 y junio 2009 según (tabla 1).

Tabla 1. Fechas en las que se muestrearon los embalses

Cabra Corral	<i>Estiaje:</i> agosto 07, octubre 08, junio 09 <i>Crecidas:</i> enero 08, abril 08
El Tunal	<i>Estiaje:</i> agosto 07, octubre 08 <i>Crecidas:</i> diciembre 08, marzo 09
Campo Alegre	<i>Estiaje:</i> agosto 07, octubre 07, noviembre 07, noviembre 08 <i>Crecidas:</i> diciembre 07, febrero 08, mayo 08

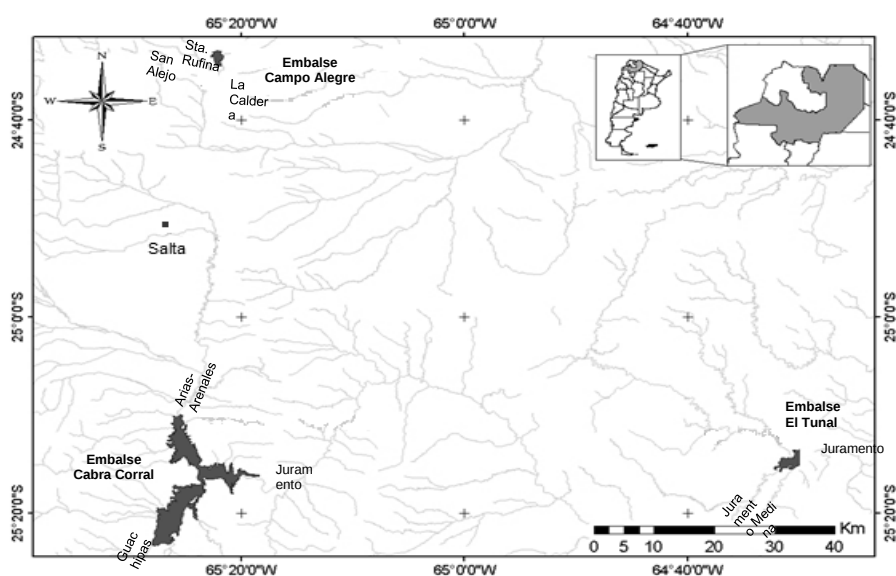


Fig. 1. Ubicación de los embalses muestreados en la provincia de Salta

Se estudiaron un total de siete sitios correspondientes a las zonas de mayor influencia lítica, y la zona central más profunda de cada reservorio (tabla 2).

Tabla 2. Ubicación de las estaciones de muestreo

Estaciones de muestreo		Coordenadas geográficas
E1	Embalse Cabra Corral - Centro	25°16'24.1"S 65°23'23.5" W
E2	Ingreso del río Arias-Arenales (La Maroma)	25°11'56.8"S 65°25'09.8" W
E3	Ingreso del río Guachipas (El Zapallar)	25°19'43.4"S 65°26'55.8" W
E4	Embalse El Tunal – Centro	25°14'01.5"S 64°29'34.0" W
E5	Ingreso del río Juramento	25°15'05.4"S 64°31'12.8" W
E6	Embalse Campo Alegre - Centro	24°34'16.0"S 65°22'00.0" W
E7	Ingreso de los ríos Santa Rufina y San Alejo	24°33'28.5"S 65°22'13.2" W

Las muestras para el análisis del fitoplancton fueron obtenidas a cuatro profundidades: subsuperficie, uno, dos y tres Secchi. De cada sitio se colectaron muestras enteras en recipientes plásticos de 250 mL. El análisis cualitativo se realizó a partir de muestras obtenidas mediante redes de 15 µm de poro, fijadas en formaldehído al 4% y examinadas al microscopio óptico con lentes de inmersión (1100 X), empleando claves taxonómicas específicas para la determinación de cada uno de los taxa algales.

El análisis cuantitativo se realizó a partir de muestras fijadas in situ con lugol acético al 1%, en laboratorio fueron sedimentadas en cámaras combinadas y contadas al microscopio invertido (Olimpus SL), el recuento se realizó siguiendo la técnica de Utermöhl [8].

Se calcularon el índice de Diversidad de Shannon – Weaver H' [9], equitatividad y riqueza específicas.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo utilizando el programa INFOSTAT versión 2008 [10].

3 RESULTADOS

La densidad fitoplanctónica promedio presentó diferencias significativas entre embalses ($H=10,41$; $p<0,01$). Siendo comparativamente inferior en El Tunal (834 ind/mL) en relación a Campo Alegre (1969 ind/mL), y Cabra Corral (1814 ind/mL).

La diversidad, riqueza y equitatividad también se diferenciaron entre estos reservorios (tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios de diversidad, riqueza y equitatividad en los embalses C. Corral, C. Alegre y El Tunal durante el período estudiado. Letras distintas indican diferencias significativas

Parámetro	Cabra Corral	Campo Alegre	El Tunal	Estadístico	Nivel de significación
Diversidad	1,72 b	1,32 a	2,12 b	13,61	0,0011
Riqueza	12,15 b	10,06 a	11,19 ab	11,79	0,0026
Equitatividad	0,50 b	0,40 a	0,61 c	15,13	0,0005

Cabra Corral presentó la mayor riqueza promedio de especies, particularmente durante los meses de aguas altas al generarse turbulencias, aportes de inóculos y material particulado que impidieron la estabilidad y dominancia de pocas especies. Los valores de diversidad y equitatividad fueron superiores en El Tunal a la inversa de los registros de densidad del fitoplancton.

Los menores valores de diversidad se registraron en Campo Alegre debido a la elevada abundancia de *Ceratium hirundinella*, a lo largo de todo el período muestreado.

Considerando los diferentes sitios de muestreo los máximos registros de densidad así como los mínimos de diversidad y equitatividad se dieron en el ingreso de los tributarios al embalse Campo Alegre (E7) (fig. 2).

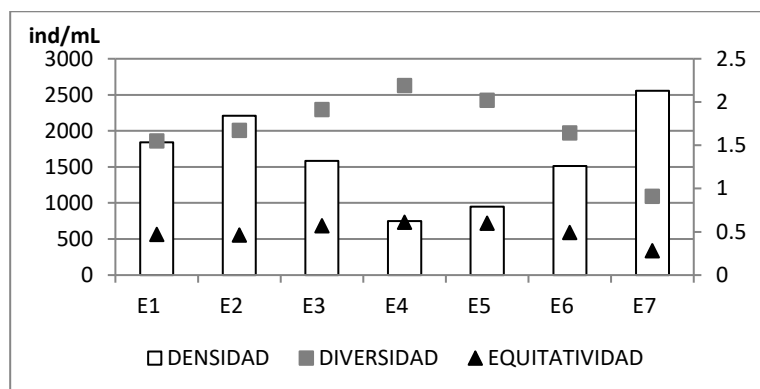


Fig. 2. Valores promedio de densidad, diversidad y equitatividad en los diferentes sitios de muestreo

En el embalse Cabra Corral la densidad del fitoplancton no presentó diferencias entre períodos del ciclo hidrológico aunque resultó comparativamente superior durante el estiaje (promedio 2076 ind/mL con respecto a las crecidas 1304 ind/mL).

Espacialmente, el fitoplancton estuvo distribuido irregularmente en la columna de agua sin embargo estos cambios en la abundancia tampoco fueron significativos a las distintas profundidades analizadas.

En El Tunal los valores de densidad fitoplanctónica en la columna de agua no presentaron diferencias estadísticas entre sitios de muestreo, aunque en general, fueron más elevados en la zona de ingreso del tributario al embalse (949 ind/mL) en comparación a la presa (749 ind/mL). Temporalmente, los valores de la abundancia algal si se diferenciaron estadísticamente entre las fases del ciclo hidrológico ($W=60$; $p=0,0001$). Siendo superiores durante el estiaje (1064 ind/mL en estiaje y 465 ind/mL en crecidas).

En ambos embalses, la composición de la comunidad fitoplanctónica durante el estiaje fue típica de ambientes turbios y turbulentos, el mayor aporte a estos sistemas, estuvo dado por criptófitas y bacillariofíceas mientras que los restantes grupos algales contribuyeron con porcentajes que no superaron el 16% (fig. 3 y 4). Los géneros *Rhodomonas* y *Cryptomonas* fueron los organismos más abundantes pertenecientes al grupo de las criptófitas. Las diatomeas o bacillariofíceas se encontraron representadas en segundo lugar con *Aulacoseira granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *Cyclotella meneghiniana* entre las más abundantes. Las dinófitas, con *C. hirundinella* como especie dominante, alcanzaron el 14% durante este período en Cabra Corral en cambio en El Tunal el mayor desarrollo se produjo durante aguas altas (22%), particularmente en la presa en coincidencia con la mayor estabilidad de la columna de agua, con densidades máximas a la profundidad de un Secchi (216 ind/mL en marzo 09). Las clorófitas y cianófitas tuvieron mayor representatividad en la fase de crecidas y entre las especies más frecuentes del primer grupo estuvieron *Closterium moniliferum*, *Cl. venus*, *Schroeteria setigera*, *Monoraphidium griffithii*, mientras que *Anabaena spiroides*, *A. circinalis*, *Merismopedia tenuissima* fueron las cianófitas dominantes. Euglenófitas y otros pequeños fitoflagelados tuvieron una presencia que en conjunto no superaron el 2%.

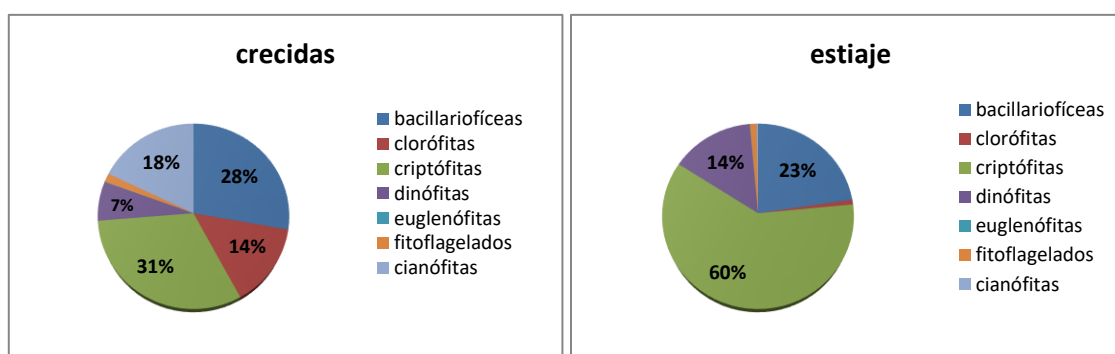


Fig. 3. Composición porcentual de los grupos taxonómicos del fitoplancton en el embalse Cabra Corral durante el período estudiado

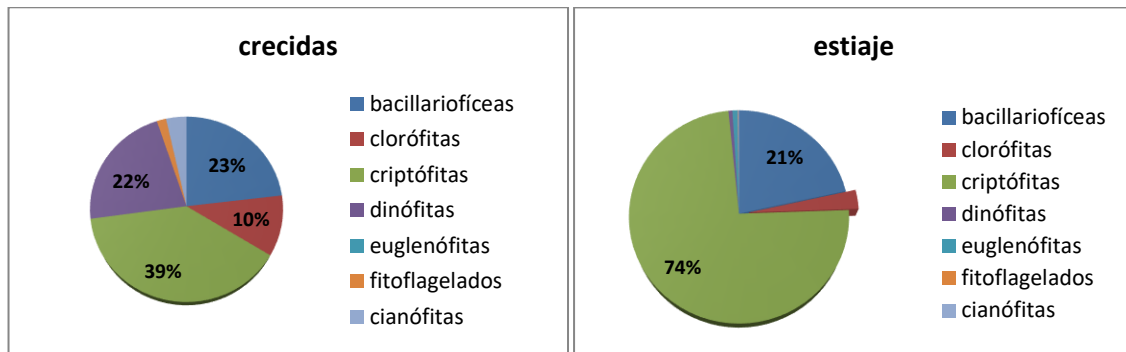


Fig. 4. Composición porcentual de los grupos taxonómicos del fitoplancton en el embalse El Tunal durante el período estudiado

En Campo Alegre la abundancia de la comunidad fitoplanctónica, analizada en base a los sitios de muestreo indicó diferencias significativas entre ellos ($W=646$; $p=0,0063$), siendo en general mayor en la cola del embalse (2556 ind/mL) en relación a la presa (1512 ind/mL). La densidad algal durante aguas altas superó significativamente a la registrada en estiaje ($W=534$; $p=0,0019$) con valores promedios de 2881 y 1513 ind/mL, respectivamente.

Durante ambas fases del ciclo hidrológico, las dinófitas representadas principalmente por *C. hirundinella*, contribuyeron con más del 75% al total de la biomasa (fig. 5).

Las cianobacterias (*Pseudanabaena mucicola*, *Microcystis aeruginosa*) que constituyeron el grupo subdominante tuvieron mayor representación durante los meses de aguas altas (7%), cuando las condiciones de la masa de agua (mayor temperatura y estabilidad de la columna de agua) promovieron su crecimiento en desmedro de los demás grupos del fitoplancton.

Aunque en general, contribuyeron escasamente a la biomasa total (5%), las criptófitas (*Rhodomonas* spp.) estuvieron siempre presentes junto a otros fitoflagelados nanoplanctónicos, favorecidas por su rápido crecimiento y eficiente incorporación de nutrientes (C estrategias).

Las clorófitas en general estuvieron escasamente representadas (menos del 2%), se destacaron *Sphaerocystis Schroeteri*, *Monoraphidium minutum*, *M. irregulare* y desmidiáceas (*Staurostrum* spp., *Closterium* spp.), como subdominantes.

Las euglenófitas aportaron menos del 1% en ambas fases del ciclo hidrológico destacándose especies del género *Trachelomonas* (*T. volvocinopsis*, *T. intermedia*).

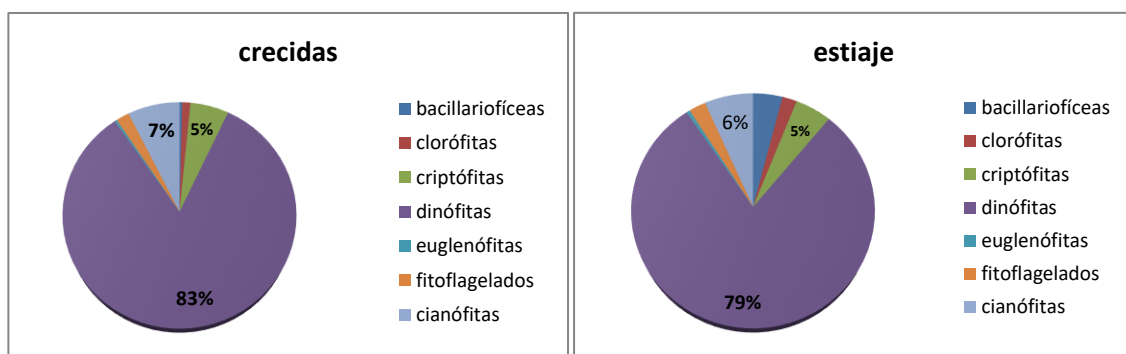


Fig. 5. Composición porcentual de los grupos taxonómicos del fitoplancton en el embalse Campo Alegre durante el período estudiado

El Análisis de Componentes Principales realizado considerando los datos de biomasa, diversidad, riqueza, equitatividad y la densidad de los grupos taxonómicos, permitió reducir estas variables a dos componentes que explicaron el 85 % de la varianza total de los datos.

El primer componente explicó el 56% de la variación de los datos y estuvo definido por su relación inversa con la diversidad, riqueza, equitatividad, y la densidad de criptófitas (fig. 6). El embalse Campo Alegre presentó los menores valores de estas variables como consecuencia de las frecuentes floraciones de *Ceratium*. En tanto que, hacia la región opuesta de este componente se ubicaron El Tunal y Cabra Corral, que presentaron valores superiores.

El segundo componente explicó el 29% de la varianza y estuvo definido por su relación directa con los datos de densidad total, y las abundancias de clorófitas y cianófitas siendo estas las variables de mayor peso en el componente. Hacia la zona positiva del eje, se puede observar que en Campo Alegre presentó la mayor biomasa total y la densidad de cianófitas, en tanto que, en Cabra Corral lo fue el grupo de las clorófitas.

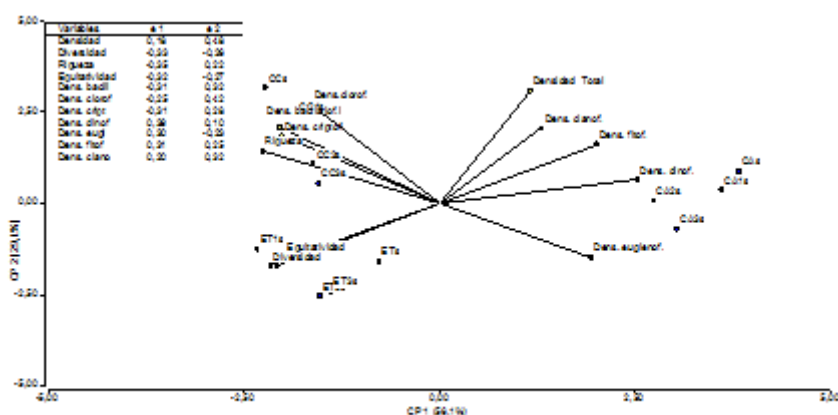


Fig. 6. ACP realizado según variables biológicas estudiadas en los embalses Cabra Corral, El Tunal y Campo Alegre

4 DISCUSIÓN

En los embalses de la Alta Cuenca del Juramento, la densidad fitoplanctónica tendió a ser más elevada en los meses de estiaje, aunque sólo mostró diferencias significativas en El Tunal. El efecto del manejo ejercido en este último reservorio y la rigurosidad climática de la región favorecen el sostenimiento de una flora más diversa y equitativa, aunque menos abundante en comparación con el resto.

En Cabra Corral y El Tunal se destacó la persistencia de criptófitas de acuerdo con lo informado para estos ambientes por estudios previos [6].

Las dinófitas con *C. hirundinella* como especie dominante, se presentaron en los tres reservorios en ambos períodos del ciclo hidrológico. En Campo Alegre, fue dominante a lo largo del muestreo, por lo que determinó los menores valores de diversidad, riqueza y equitatividad de especies. En Cabra Corral ocuparon el tercer lugar durante los meses de estiaje, luego de criptófitas y bacillariofíceas, con una contribución inferior a la registrada durante las floraciones del período 2000/03, mientras que en El Tunal estuvieron en una proporción similar a la registrada durante los pulsos de floraciones ocurridos entre 2000/02 [6].

La condición de dominancia de dinoflagelados acompañados de cianobacterias observada en Campo Alegre en los meses más cálidos fue informada previamente [7] por lo que se destaca la importancia de conocer la potencialidad de aparición de floraciones algales indeseables.

Esta situación se reitera en otros embalses del país, como los de Córdoba, donde las floraciones de dinoflagelados han incrementado su frecuencia y duración en la última década ([11], [12]). La densidad promedio registrada en la cola ($2,6 \times 10^6$ cél.L-1) fue similar a la obtenida en otros embalses como Los Molinos donde el crecimiento alcanzado en marzo de 2005 ($2,8 \times 10^6$ cél.L-1) generó la mortandad de peces en zonas con poca circulación [13].

Los géneros *Ceratium* y *Peridinium* suelen desarrollar elevadas biomásas en cuerpos de agua mesotróficos o eutróficos [14]; clasificación que correspondería a estos sistemas según estudios previos realizados por diversos autores ([15], [4], [16]).

5 CONCLUSIONES

Los reservorios Cabra Corral y El Tunal presentaron una disminución de la diversidad específica durante el estiaje producto de la mayor estabilidad en los cuerpos de agua, a diferencia de la densidad fitoplanctónica que tendió a ser más alta, aunque no mostró diferencias significativas. En Campo Alegre la presencia de *C. hirundinella* sostenida en el tiempo con pulsos de floraciones determinó los menores valores de diversidad, riqueza y equitatividad de especies en relación al resto.

La densidad fitoplanctónica de El Tunal fue marcadamente inferior, con predominio de pequeñas criptófitas. Aunque el efecto del manejo y la rigurosidad climática de la región favorecieron el sostenimiento de una flora con tendencia a ser más diversa y equitativa en relación al resto, aunque no diferente estadísticamente.

Según los niveles establecidos por la OMS estos ambientes se considerarían con escasa probabilidad de efectos adversos sobre la salud para los usos recreativos a excepción de Cabra Corral, en la presa, durante el muestreo de abril de 2008 cuando la densidad superó las 20.000 cél/mL.

Los avanzados procesos de eutrofización (mesotrófico-eutrófico) de los sistemas estudiados favorecen los florecimientos algales pudiendo dificultar los usos en los mismos. Por otro lado, teniendo en cuenta que a la fecha se han iniciado las obras de construcción de una nueva planta potabilizadora en el dique Campo Alegre, se recomienda llevar a cabo programas de control y seguimiento de las floraciones algales a los fines de garantizar la calidad del agua. Además de la implementación de proyectos de conservación de las cuencas, control de la eutrofización y ordenamiento de las actividades en los embalses.

REFERENCIAS

- [1] R. D. Margalef, J. Planas, A. Armengol, N. Vidal, A. Pratt, J. Guiset, J. Toja and M. Estrada. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 422 + 75 pp, 1976.
- [2] J. G. Tundisi, "Ecological studies at the lagunar region of Cananeia". *Proceedings of a workshop*. Roma: FAO, UNESCO, SCOR. p 298-304, 1981.
- [3] J. G. Tundisi and T. Matsumura Tundisi. *Limnología*. Oficina de textos. Sao Paulo. Brasil, 2008.
- [4] M. de Viana and R. Quirós, "Limnología física del embalse Gral. Belgrano, Argentina", *Comunicaciones del Museo de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta*, no. 5, pp.1-10, 1988.
- [5] M. M. Salusso and L. B. Moraña, "Características físicas, químicas y fitoplancton de ríos y embalses de la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta, Argentina)", *Natura Neotropicalis*, no. 31 (1-2), pp.29-44, 2000.
- [6] M. M. Salusso, "Evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la Alta Cuenca del Juramento (Salta)", *Tesis Doctoral*, Universidad de Buenos Aires, 2005.
- [7] L. C. Smolko, M. M. Salusso and L. B. Moraña, "Estudio limnológico del embalse Campo Alegre (Provincia de Salta, Argentina): diez años después", *Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles y Escalas*. Cochabamba, Bolivia. Vol. II: 1212-1219, 2007.
- [8] H. Utermöhl, "Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton methodik". *Mitt. Int. Verein. Limnol*, 9, 1-38, 1958.
- [9] C. E. Shannon and W. Weaver, "The mathematical Theory of communication". *The University of Illinois Press*. Urbana. 177 pp, 1949.
- [10] J. A. Di Rienzo, F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada and C. W. Robledo. *Grupo InfoStat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2008.
- [11] R. A. Bazán, A. Cossavella, S. del Olmo, A. Rodríguez, F. Busso and N. Larrosa, "Estudio a largo plazo de la estructura y dinámica del fitoplancton del embalse Los Molinos, Córdoba". *XXII° Congreso Nacional del Agua*, Chubut, Argentina, 2009.
- [12] M. Pierotto, C. Daga, C. Prósperi and A. Rincón, "Blooms algales en embalses de la provincia de Córdoba, Argentina". *XXII Congreso Nacional del Agua*. Trelew-Chubut, 2009.
- [13] R. A. Bazán, N. Larrosa, A. Cossavella, F. Monarde, S. Oviedo Zabala, A. Rodríguez and F. Busso, "Mortandad de peces en el embalse Los Molinos asociados a florecimientos de *Ceratium hirundinella*". *XXI° Congreso Nacional del Agua*. Tucumán, Argentina, 2007.
- [14] Reynolds, C. S. *Vegetation Processes in the Pelagic: a Model for Ecosystem Theory*. Luhe, Alemanha: Inter-Reserch Science Center, Ecology Institute. (Excellence in Ecology, 9), 1997.
- [15] C. Sueldo, C. and J. Quinteros, "Características físico-químicas de la Presa General Manuel Belgrano". *Consejo de Investigación*. Universidad Nacional de Salta. 20p., 1986.
- [16] M. M. Salusso and L. B. Moraña, "Estado Trófico del Embalse Cabra Corral (Provincia de Salta)". *XXV Congreso Argentino de Química*. Facultad de Ingeniería. U.N.C.P.B.A. Olavarría, provincia de Buenos Aires. Argentina, 2004.

Desarrollo de software utilizando una metodología ágil desde la perspectiva de los requisitos del usuario

[Software development using an agile methodology from the perspective of user requirements]

Ana Laura Roman Luna, José Juan Hernández Mora, Higinio Nava Bautista, and Abel Edwin Guarneros Morales

Maestría en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México, I. T. Apizaco, Apizaco, Tlaxcala, Mexico

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this article is to describe the proposal for an agile methodology focused on user requirements and its implementation in the System of Integral Administration of Human Resources (SAIRH). This methodology consists of a pre-phase of requirements that can be implemented to an agile methodology, in addition to a cycle for change requests that is incorporated into the cycle of the methodology used, the pre-phase consists of 5 stages: collection, analysis, prototyping, negotiation and the initial requirements report. The change request cycle includes 4 stages: change request, analysis, negotiation, adding the change to the requirements report. The implementation is carried out in the SAIRH where the XP methodology with MVC is used and both the pre-phase of requirements and the change request cycle are included, at the end of this work the impact that the use of this methodology has on the development time of the system is analyzed.

KEYWORDS: Requirements, Software, Methodology, Elicitation, Agile.

1 INTRODUCCIÓN

Durante el ciclo de vida de un software la etapa de requerimientos presenta el punto de partida para definir las actividades a realizar, la importancia de la correcta recopilación de información del cliente es muy alta y requiere de un correcto análisis de esta. Con la introducción de las metodologías ágiles en el proceso de desarrollo, el proceso de recolección de requisitos ha cambiado para permitir un desarrollo rápido y la entrega continua de productos funcionales al cliente [1].

La recolección de requerimientos se realiza de forma constante requiriendo una comunicación continua con el cliente para la resolución de dudas que pudieran surgir en el proceso, provocando una dependencia directa del éxito del proyecto a la disponibilidad del cliente [2].

En la actualidad el desarrollo de software ha tenido una demanda mayor, la integración de tecnología y la sistematización de procesos se ha vuelto una necesidad, esta nueva era tecnológica ha provocado que los usuarios cada vez tengan más expectativas en los sistemas, buscando que satisfagan todas sus necesidades.

“Gran parte de los problemas que se presentan en el ciclo de vida de un proyecto de software, se deben al mal proceso de recolección y análisis de los requisitos del cliente, es por ello que las empresas de desarrollo de software deben implementar nuevos mecanismos que ayuden a ganar confiabilidad en los requisitos de tal modo que se disminuyan riesgos y costos adicionales durante el proceso de desarrollo” [3].

En el presente trabajo se realiza una investigación sobre el estado actual de la ingeniería de requerimientos y las técnicas de recolección utilizadas, mediante él se pretende desarrollar una metodología ágil que incluya una fase de requisitos, donde se defina una técnica de recolección que permite obtener la mayor cantidad de información por parte del cliente y representarla de forma clara para los desarrolladores, sin afectar el aspecto ágil de desarrollo.

Mediante el desarrollo de una metodología ágil desde la perspectiva de los requisitos del usuario se busca integrar técnicas de recolección ágil que permitan definir de una manera más clara y formal las necesidades del usuario y de esta forma analizar cuál es el impacto en el tiempo de desarrollo que se tiene y cuáles son los beneficios a corto y largo plazo de la implementación de estas técnicas.

Para ellos es necesario realizar un análisis de técnicas de recolección ágil utilizada en múltiples proyectos y los resultados obtenidos con ellas, determinar los beneficios que ofrece cada una, posteriormente se procederá a definir una metodología propia que se adapta a la utilizada en el desarrollo del proyecto y permita tener un mejor control de los requerimientos del usuario y su especificación en el proyecto desarrollado.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS

La ingeniería de requerimientos es probablemente la parte más importante del desarrollo de un nuevo producto [4]. Igualmente, el objetivo principal al inicio del desarrollo es la creación de un producto que pueda ser exitoso en el mercado y que ayude a la compañía a ser exitosa, la ingeniería de requerimientos ayuda a ordenar las ideas que pueden surgir para dar solución al objetivo. Por ello los proyectos son exitosos, cuando son comercializables y factibles.

Las actividades fundamentales que se llevan a cabo en la ingeniería de requerimientos inician con la recolección [4], durante esta etapa es necesario llegar a un acuerdo con los clientes sobre el enfoque y la forma en como los requerimientos serán aceptados, el método aplicado debe de ser adecuado al igual que la selección de las fuentes a utilizar.

Posteriormente se procede a realizar la clarificación, evaluación y priorización de los requerimientos, mediante este proceso se pretende tener un concepto más claro de lo que requiere el cliente, al realizar la revisión de la información recolectada es posible realizar un orden jerárquico de los requerimientos y verificar que cumplan con las características de corrección, coherencia, claridad, integridad, trazabilidad y verificabilidad.

La documentación de requerimientos se lleva a cabo durante el ciclo de vida entero de un producto, todas las acciones que se lleven a cabo ya sea mantenimiento, añadir nuevas funciones o la adaptación de nuevos estándares deben de ser documentadas para su posterior discusión. Otro de los puntos a considerar es la composición del equipo para el desarrollo del proyecto, es necesario que al menos exista un ingeniero en requerimientos entrenado dentro de él, si el cliente no tiene un representante en el equipo es muy importante que se ponga especial énfasis en la implementación de los requerimientos.

2.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Medina, Pineda & Téllez [5] realizan un rastreo bibliográfico de técnicas de levantamiento de requerimientos, centrándose principalmente en aquellas donde se tienen menor contacto con el usuario como el uso de prototipos, el análisis de documentos y el software heredado. Se presenta como problemática la resistencia al cambio o la falta de interés del cliente para la correcta identificación de las necesidades.

Las técnicas presentadas incluyen el prototipado donde se realizan implementaciones a un sistema de software ayudando a validar y recopilar información, es una técnica que puede ser utilizada en fases tempranas del proceso de especificación, algunas técnicas como sketches y storyboard son útiles para realizar modelos visuales de interfaces gráficas. La técnica de software heredado se adapta mejor a proyectos de mantenimiento, evolución y reingeniería, mediante esta técnica se hace una revisión profunda del proceso que se realiza mediante el software existente y de esta forma se hace la extracción y abstracción en las interacciones de los datos necesarios para el desarrollo. Por último, la técnica de análisis de documentos tiene como objetivo generar un modelo de datos mediante análisis sintácticos, clasificación de entidades, segmentación de oraciones y análisis semánticos donde se pretende identificar las entidades, relaciones y atributos del sistema.

Zamudio, Aguilar, Tripp & Misra realizan un estudio de las herramientas de ingeniería de requisitos utilizadas en los procesos de desarrollo de software ágiles utilizando métodos como SCRUM, Dynamic Systems Development Method (DSDM), Adaptive Software Development (ASD) y Crystal Family [6], en donde describen que las actividades que conforman la ingeniería de requisitos como son: recolección, análisis, validación y gestión, de igual forma presenta algunas técnicas tradicionales como la entrevista, estudio de documentación, observación, casos de uso, escenario, grupos focales, lluvia de ideas, prototipado, cuestionario, lenguaje natural y forma de contrato.

Posteriormente se realiza un estudio dirigido a desarrolladores que buscan un método para obtener un soporte de proceso más robusto, mediante la búsqueda de las técnicas tradicionales y ágiles que se aplican en procesos ágiles de desarrollo [6]. En la tabla 1 se

muestra las técnicas tradicionales de la ingeniería de requerimientos (RE) en el proceso de desarrollo de software (SDP) y las técnicas de RE en el desarrollo adaptativo de software (ASD).

Tabla 1. Técnicas tradicionales en técnicas de métodos ágiles [6]

Técnicas de RE en SPD tradicional	Técnicas de RE en ASD
Especificación de requerimientos de software	Backlog en Scrum
Entrevista	En Scrum, Xp, Crystal
Lluvia de ideas	En Scrum, Crystal, puntos de vista en XP
Casos de uso	En Crystal, historias de uso en XP
Escenarios	En Scrum, XP
Reuniones	En Xp, Crystal
Prototipos	En Scrum, time-boxed en Crystal y ASD
Priorización	En Scrum, Xp, Crystal, Kanban
Modelado	En Scrum, Xp, Crystal, Kanban
Reuniones de análisis	En AUP, Kanban, Planning Poker en Scrum
Observación	En Scrum, Xp, ASD, DSDM, Crystal
Análisis social	En Scrum, Xp, ASD, DSDM, Crystal
Documentación	Burn-down y burn-up en Scrum
Revisiones	En ASD Reviews Sprint en Scrum

2.3 METODOLOGÍAS DESARROLLADA CON UN ENFOQUE EN EL ÁREA DE REQUERIMIENTOS

Murillo [7] desarrolla un modelo híbrido enfocado únicamente a la etapa de requisitos de un sistema, se propone el uso de iteraciones en espiral que se realizarán las veces que se consideren necesario hasta obtener un documento final de requisitos, este diseño se centra en el grupo de interesados, al igual que en los elementos que pueden intervenir en la actividad de recolección de requisitos como las necesidades del usuario, sistemas similares y estándares.

El ciclo de vida presentado inicia con la recolección de requerimiento, posteriormente se realiza un análisis de la información obtenida y una negociación, una vez finalizada continua la documentación de requisitos que en este caso es un documento borrador de los requisitos presentados, el documento de requisitos final se presenta en la fase de validación de requisitos, este ciclo se repite hasta que ese considere que el documento final está completo.

El modelo propuesto se muestra en la figura No. 1, donde se incluyen cuatro fases:

- Recolección de requisitos
- Análisis y negociación
- Documentación de requisitos
- Validación de requisitos

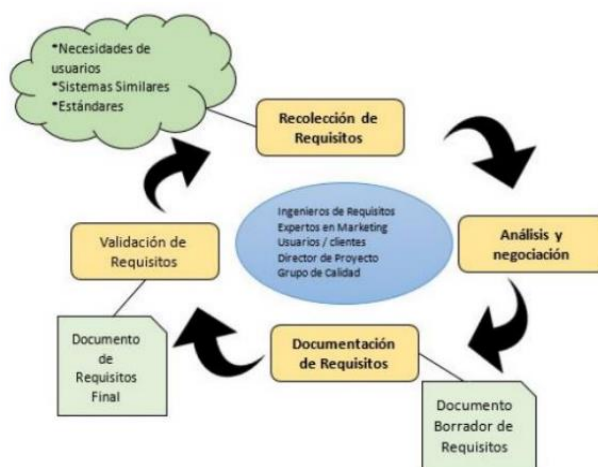


Fig. 1. Modelo referencial híbrido para la ingeniería de requisitos [7]

3 METODOLOGÍA PROPUESTA

Teniendo como base el modelo referencial híbrido para la ingeniería de requisitos en la creación de la metodología propuesta [7], se han definido y modificado las etapas que lo integran, además de que se ha incorporado este modelo tanto en una pre-fase de requerimientos como en el desarrollo. En la figura No. 2 se muestra la propuesta de una metodología enfocada en la etapa de requerimientos, donde se observa incluye una pre-fase de requisitos en un modelo de desarrollo.

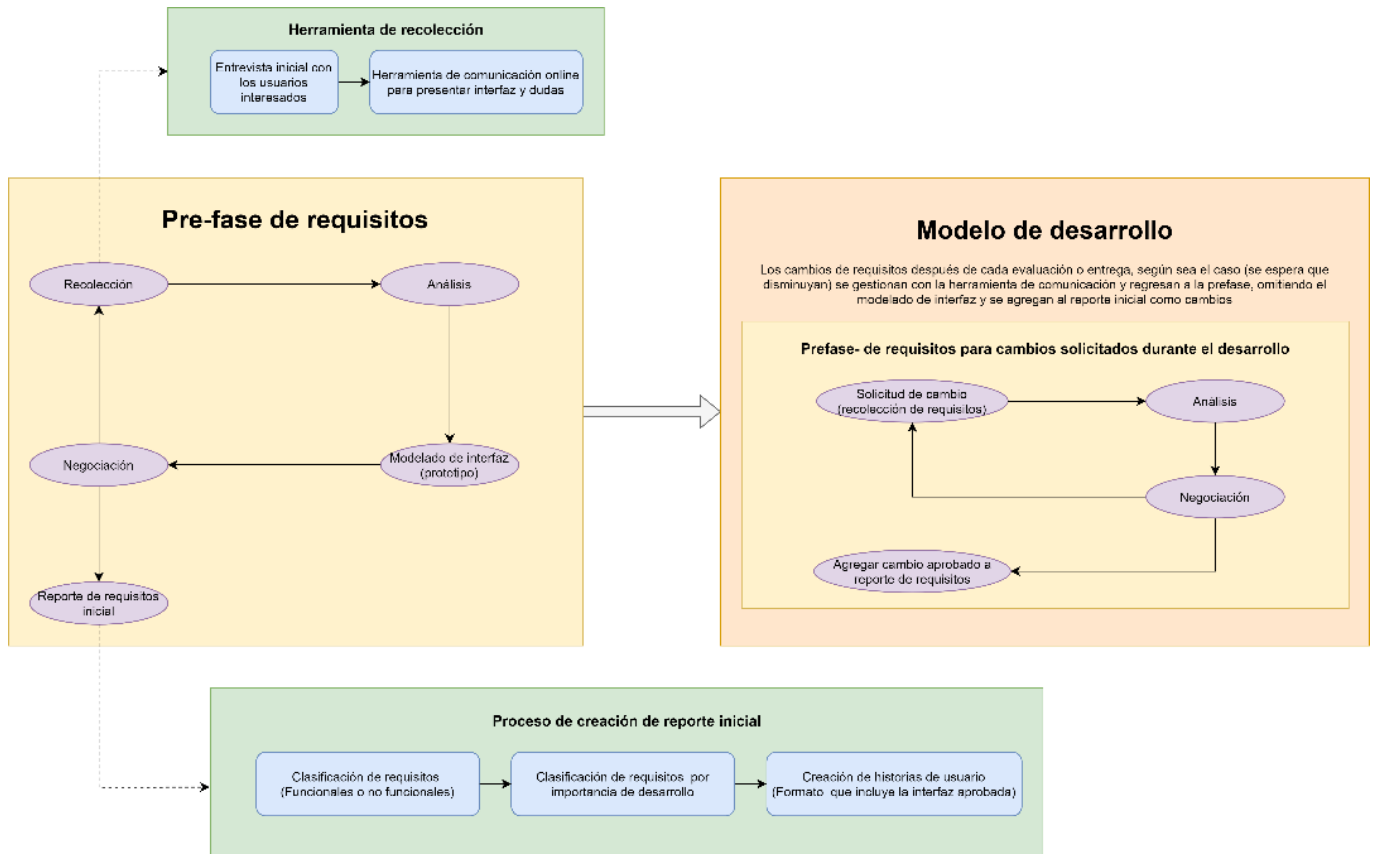


Fig. 2. Metodología propuesta para la integración de una pre-fase de requisitos a un modelo de desarrollo

Para la pre-fase se incluyen cinco etapas: la primera es la recolección de requerimientos, en donde se hace uso de la entrevista como la interacción inicial entre el cliente y el desarrollador, para asegurar que se obtenga la información necesaria para comenzar la etapa de análisis, posteriormente se hará la elección de una herramienta online de comunicación para mejorar la interacción entre el usuario y el desarrollador.

Una vez que se tenga la información en la recolección se procede al análisis de la misma, para de esta forma definir de forma precisa los requisitos y proceder a la evaluación de los mismos. Posteriormente, se integra la técnica de prototipado, que es una de las técnicas que requiere menor interacción del usuario, principal objetivo del desarrollo de la metodología propuesta.

A diferencia de Murillo [7], quien integra la fase de análisis y negociación en una misma etapa, se ha optado por dividirla para realizar la negociación una vez que se ha desarrollado el prototipo de la interfaz, dentro de esta etapa se evalúa el prototipo presentado, en caso de ser rechazado por el usuario o se requiera algún cambio el ciclo comienza de nuevo, si es aceptado se procede a integrarlo en el reporte de requisitos inicial, el cual es un documento donde se definen los requisitos ya evaluados y aceptados, clasificándolos en funcionales o no funcionales y posteriormente definiendo su nivel de importancia de desarrollo, se integran por medio de historias de usuario, para lo cual se definen un formato propio (mostrado en la siguiente sección) donde además de la especificación se incluye la interfaz previamente aprobada.

Para la integración de la pre-fase de requisitos dentro del modelo de desarrollo se plantea un esquema con únicamente 4 etapas, estas deben ser aplicadas cuando exista una solicitud de cambio ya dentro del desarrollo, con la implementación de la pre-fase se espera que estas solicitudes disminuyan considerablemente. Las etapas consideradas son: la solicitud de cambio como etapa de recolección de requisitos, en donde se definirán las modificaciones necesarias y el lugar donde se deben realizar siguiendo con el análisis de la misma,

posteriormente se procede directamente a la negociación omitiendo la etapa de prototipado ya que el sistema ya se encuentra en desarrollo y esta etapa podría alentar el proceso, una vez que dentro de la negociación se hace la validación se integra al reporte inicial no como requisitos, si no como cambio aprobado.

3.1 FORMATOS PROPUESTOS

Para el proceso de recolección se han propuesto tres formatos ligados para la correcta interpretación de la información obtenida.

3.1.1 HISTORIAS DE USUARIO

Para el formato de historia de usuario como se observa en la figura No. 3 se incluyen las secciones de: No. en donde se indica el número de historia correspondiente, nombre de la historia, tiempo estimado de realización, dependencia de otra historia (s), usuario que realiza la acción, objetivo de la historia, el beneficio es decir que se quiere lograr con ello y finalmente el proceso que se realiza para la historia.

No.	Nombre Historia:		Tiempo estimado
Módulo		Nivel de prioridad	
Dependencia		Programador asignado	
Descripción			
Usuario (Como)			
Objetivo (Quiero)			
Beneficio (Para poder)			
Proceso			

Fig. 3. Formato de historia de usuario

3.1.2 LÓGICA DE NEGOCIO

La lógica de negocio tiene como objetivo describir el proceso de forma más exacta para los desarrolladores, describiendo el tipo de campo a utilizar y las validaciones correspondientes a cada proceso, como elemento inicial se tiene el proceso de ingreso al módulo a desarrollar, posteriormente se describe el proceso redactado en la historia de usuario, las tablas necesarias y las llaves primarias a utilizar, además de la descripción más precisa de los elementos y el proceso. En la figura No. 4 se muestra el formato correspondiente.

Lógica de Negocio

Proceso para ingresar:

1.

Lógica de negocio para la historia No.	
Proceso.	1.
Tabla correspondiente:	
Llave primaria:	
Descripción del Proceso	
1.	

Fig. 4. Formato de lógica de negocio

3.1.3 PROTOTIPOS

Para complementar y definir los requisitos solicitados, se ha definido un formato para presentar los prototipos realizados, para poder llenar este formato es necesario haber realizado los dos anteriores. En la figura No.5 se puede observar que en el formato únicamente

se incluyen el número de la historia a la que corresponden los prototipos, el nombre de la historia y los prototipos acorde al proceso definido previamente.

Diseño de pantalla para la historia: No.	Nombre de la historia
Prototipo de interfaz	
1.	

Fig. 5. Formato de prototipos

4 RESULTADOS

4.1 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DE RECURSOS HUMANOS (SAIRH)

4.1.1 CASO DE PRUEBA

La metodología propuesta se aplicó al desarrollo del Sistema de Administración Integral de Recursos Humanos (SAIRH) para verificar su funcionamiento. Dado que, con el desarrollo del SAIRH se pretende automatizar el proceso de trámites para gestión de pagos por renuncia, gratificación por jubilación, pago por invalidez y estímulo por antigüedad; mediante la implementación de este sistema para reducir el tiempo de realización del proceso y mantener un monitorio constante del estatus del trámite.

4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta ha sido aplicada a la fase de análisis de requisitos en el sistema SAIRH, para ello, se llevó a cabo la reunión inicial con el personal involucrado en donde fueron descritas las funciones que se desean implementar en el sistema, durante esta entrevista se presentó la problemática actual y la necesidad del sistema, así como el proceso que se debe llevar a cabo con él.

En dicha reunión, fueron realizados los acuerdos sobre las funcionalidades que se deben incluir y las áreas que harán uso del sistema, como primer producto se realizaron notas de lo comentado durante la reunión las cuales sirven como base para el llenado de los formatos propuestos.

4.2.1 HISTORIAS DE USUARIO

Después de realizar el análisis de los requerimientos recolectados se obtuvieron las historias de usuario en donde se han agrupado las actividades que tiene un objetivo en común y se ha definido el orden en que se realizarán, al igual que la dependencia que tienen unas de otras. En la figura No. 6 se muestra el llenado de los formatos para la historia 1 y 2, en este caso no se asigna programador hasta que sea entregado al miembro del equipo de desarrollo designado.

No.	1	Nombre Historia:	Registro de solicitudes	Tiempo estimado	2 semanas
Módulo	Prestaciones Recursos Humanos	Nivel de prioridad	Programador asignado	Alta	
Dependencia	No tiene				
Descripción					
Usuario (Como)	Jefe de Recursos Humanos del centro de trabajo				
Objetivo (Quiero)	Registrar solicitudes de prestaciones de los trabajadores				
Beneficio (Para poder)	Llevar un seguimiento del estado en que se encuentran				
Proceso					
					1. El Jefe de RH del centro de trabajo ingresa al sistema con su usuario y contraseña, además de una verificación captcha 2. El Jefe de RH del centro de trabajo se dirige al menú superior y elige la opción de prestaciones de RH CT y elige el submenú de registro de solicitudes. 3. El Jefe de RH del centro de trabajo ve un listado de las solicitudes registradas y la opción de agregar una nueva solicitud. 4. El Jefe de RH del centro de trabajo realiza una búsqueda del empleado por CURP para registrarle una nueva solicitud 5. El Jefe de RH del centro de trabajo ve un listado con los trabajadores que coinciden con la búsqueda realizada y la opción agregar solicitud 6. El Jefe de RH del centro de trabajo ve la información personal del empleado y un formulario donde se registra la solicitud. 7. El Jefe de RH del centro de trabajo puede generar la hoja de requisitos y la solicitud de la prestación. 8. El Jefe de RH del centro de trabajo puede modificar la solicitud registrada.

No.	2	Nombre Historia:	Recepción de solicitudes	Tiempo estimado	3 semanas
Módulo	Prestaciones Recursos Humanos	Nivel de prioridad	Programador asignado	Alta	
Dependencia	1				
Descripción					
Usuario (Como)	Jefe de Recursos Humanos del centro de trabajo				
Objetivo (Quiero)	Quiero ver las solicitudes registradas				
Beneficio (Para poder)	Recibir las solicitudes y los documentos necesarios				
Criterios de aceptación					
					1. El Jefe de RH del centro de trabajo ingresa al sistema con su usuario y contraseña, además de una verificación captcha 2. El Jefe de RH del centro de trabajo se dirige al menú superior y elige la opción de prestaciones de RH CT y elige el submenú de recepción de solicitudes. 3. El Jefe de RH del centro de trabajo ve un listado de las solicitudes registradas y la opción de ver cada solicitud. 4. El Jefe de RH del centro de trabajo ve la información personal del empleado y un listado de los documentos para la solicitud y su situación 5. El Jefe de RH del centro de trabajo puede ver/subir los documentos en donde se muestra una cuadrícula con la documentación requerida y la situación de cada documento. 6. El Jefe de RH del centro de trabajo puede recibir la solicitud cuando se tenga toda la documentación.

Fig. 6. Historias de usuario SAIRH

4.2.2 LÓGICA DE NEGOCIOS

Una vez que fueron definidas las historias de usuario, se realizó el llenado del formato para las lógicas de negocio en el cual, como se puede observar en la figura No. 7, donde se describe a detalle la historia de usuario estableciendo las restricciones y validaciones necesarias para cada campo y acción; además, se toma como base el proceso definido previamente y conforme a este se establecen las tablas necesarias, las cuales sirven de guía para el diseño de la base de datos y la definición de los campos necesarios en cada proceso.

Posteriormente, se definieron las lógicas de negocio correspondientes a las historias de usuario, donde fueron descritos los campos de los formularios, letreros y botones necesarios para el proceso; en consecuencia, para cada dato solicitado se definieron las validaciones necesarias y el tipo de dato, así como el campo en la base de datos que lo almacena; además, los letreros y botones fueron condicionados a las restricciones establecidas y describieron los casos en que se pueden mostrar a los usuarios.

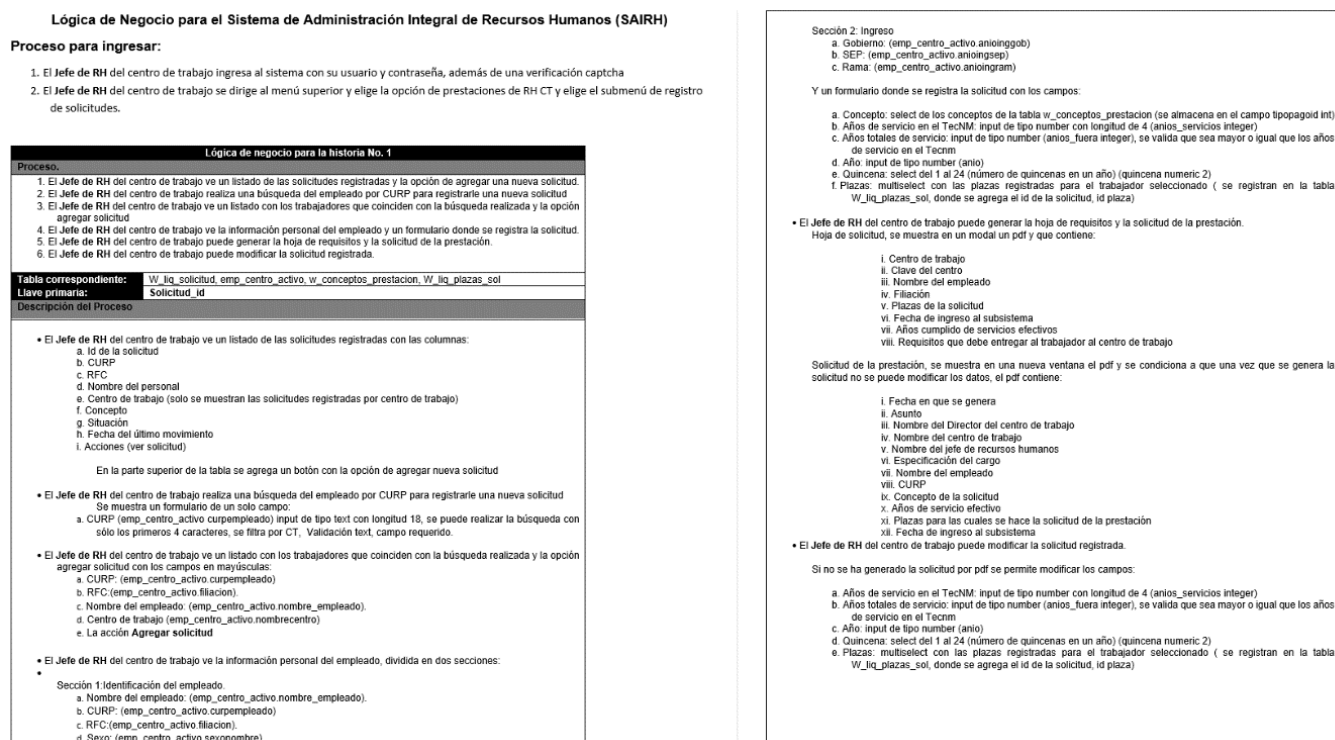


Fig. 7. Lógica de negocios SAIRH

4.2.3 PROTOTIPOS

Como complemento a la descripción realizada en las lógicas de negocio, se realizó el prototipado de cada historia, en cada pantalla se incluyen los campos descritos previamente. En la figura No. 8 se puede ver que cada formato de prototipos hace referencia a la historia que se está mostrando y dentro de los prototipos se incluyen todos los posibles resultados al seguir el proceso, así como los mensajes que deben ser mostrados.

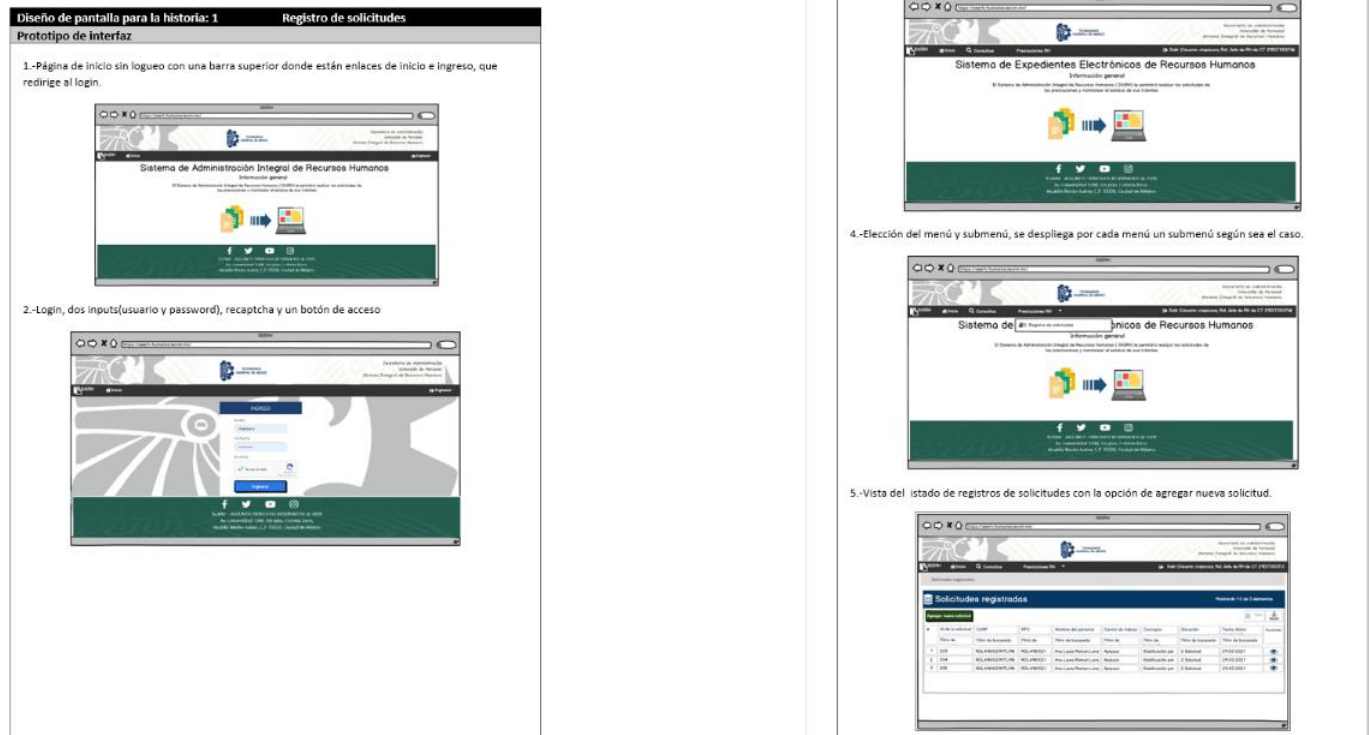


Fig. 8. Prototipos SAIRH

Al complementar todos los formatos se obtuvo una descripción de varias vistas de las diferentes perspectivas del sistema, que en conjunto documentan de manera precisa lo que se requiere para desarrollar el sistema; donde se proporcionan la historia, la lógica de negocio y los prototipos correspondientes, y con ello se logró una disminución el tiempo de desarrollo considerablemente, en promedio el 48.75%.

4.2.4 DESARROLLO

Una vez que los programadores contaron con los formatos correspondientes, se inició el proceso de desarrollo del SAIRH, implementando la metodología XP con entregas de MVP (producto mínimo viable), la programación se realizó en pares y se realizaron entregas periódicas para su aprobación al departamento de recursos humanos del TecNM. En la figura No. 9 se observa el proceso de búsqueda por CURP del empleado en producción.



Fig. 9. Búsqueda empleada SAIRH

Para cada cambio solicitado, se realizó nuevamente el ciclo especificado en la metodología, se tomaron notas iniciales de lo que consistía la modificación, posteriormente se llevó a cabo la historia de usuario y la lógica de negocio, los cuales fueron entregados a los mismos programadores responsables del módulo. En los ciclos de cambios, se optó por no incluir la fase de prototipado, ya que al rehacerlos nuevamanete retrasa la entrega de los mvp y afecta el tiempo de desarrollo. En la figura No. 10 se muestra la versión final del registro de solicitud, despues de ser evaluado y modificado.

Fig. 10. Registro de solicitud SAIRH

Los prototipos realizados para los formatos pdf del sistema a diferencia de las pantallas, se especificaron en las lógicas de negocio, los campos que incluye que deben contener y la estructura del archivo pdf; donde se incluían los datos requeridos en la lógica de forma estática. En la figura No.11 se observan dos tipos de formas en que se muestran los formatos en el sistema dependiendo lo requerido por el usuario, el primero utiliza un modal para desplegar el pdf y el segundo lo descarga directamente y lo muestra en otra página.

Fig. 11. Hoja de requisitos y solicitud SAIRH

5 CONCLUSIONES

- La implementación de una pre-fase a la metodología de desarrollo para la definición de los requerimientos permite que los programadores tengan una descripción detallada del sistema a desarrollar, haciendo que el desarrollo sea más rápido al evitar ambigüedades en los tipos de datos y el formato que se debe respetar.
- Esta metodología puede ser adaptada a una metodología ágil, incluyendo la pre-fase y el ciclo definido para los cambios solicitados, dentro del SAIRH se probó la implementación con la metodología XP con MVP.
- El tiempo de desarrollo disminuye en comparación con otros proyectos realizados (48.75% en promedio), en donde la principal problemática era la falta de comprensión o ambigüedades de los requerimientos del usuario, provocando que se realizará el desarrollo mal y el tiempo invertido en ello se desperdiciará retrasando las entregas a los usuarios.
- Al tratar la información proporcionada por el usuario con estos formatos, provoca que durante el desarrollo las dudas, antes de entregar los avances se reduzcan y solo se tenga contacto con los usuarios en las fechas planteadas con los entregables listos.
- El integrar esta pre-fase a un modelo ágil de desarrollo, permite que, al realizar el proceso de definición de requerimientos inicial con los usuarios, se puedan disminuir las peticiones de cambios o incorporación de nuevos elementos en los siguientes ciclos del desarrollo del sistema.
- Como trabajo futuro, se desea implementar esta metodología en el desarrollo de otros sistemas para verificar su impacto en diversos entornos.

AGRADECIMIENTO

Este artículo fue desarrollado gracias al apoyo brindado por el Instituto Tecnológico Nacional de México y la disposición del departamento de Recursos Humanos para brindar la información necesaria de los procesos realizados actualmente y por facilitar la realización de pruebas del sistema desarrollado. Agradezco al CONACyT por el apoyo para el estudio del posgrado.

REFERENCIAS

- [1] I. Sommerville, *Software Engineering GE*, 10th ed. USA: Pearson, 2016.
- [2] M. Hamdani and W. H. Butt, "Success and Failure Factors in Agile Development," in *2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, Dec. 2017, pp. 981–986. doi: 10.1109/CSCI.2017.169.
- [3] A. D. Murillo, "Desarrollo y evaluación de un modelo referencial híbrido basado en la fase de análisis de requerimientos, aplicado al software web," 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10958>.
- [4] M. Jantzer, G. Nentwig, C. Deininger, and T. Michl, "The Art of Engineering Leadership," *The Art of Engineering Leadership*, pp. 43–50, 2020, doi: 10.1007/978-3-662-60384-0.
- [5] J. Medina, E. Pineda, and F. R. Téllez, "Requerimientos de Software: Prototipado, software heredado y análisis de documentos," *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, vol. 37, 2019 [Online]. Available: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/11452>.
- [6] L. Zamudio, J. A. Aguilar, C. Tripp, and S. Misra, "A requirements engineering techniques review in agile software development methods," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 10408 LNCS, no. July, pp. 683–698, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-62404-4_50.
- [7] A. D. Murillo, "Desarrollo y evaluación de un modelo referencial híbrido basado en la fase de análisis de requerimientos, aplicado al software web," 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10958>.

Sistema Acuaponico Automatico

[Automatic Aquaponic System]

José L. Hernández, Julián M. Rodríguez, Jonny C. Reyes, Aldo R. Vegar, and Samuel C. Castillor

Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Universidad Tecnológica de Tlaxcala, Huamantla, Tlaxcala, Mexico

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The implementation of the automatic aquaponic system is projected as an innovative and sustainable project to be disseminated nationwide. Innovating the way in which our food is harvested, hoping to achieve a positive impact on the care of natural resources, achieving a 60% reduction in water consumption in agricultural activities thanks to our recirculation system and, on the other hand, eliminating 90% of the chemical fertilizers and 50% pesticides reducing the number of population that contracts diseases from the use of these chemicals in the conventional production of vegetables, hoping to have a good acceptance by the population, so that year after year more people use this system raising awareness of the importance of caring for and taking advantage of vital resources for human life. Being a project with many expectations that depend on the acceptance of the population, since it implies a radical change in the method of food production, which implies the substitution of conventional agriculture that is a source of work for many Mexicans so it would be impossible for everyone to make the transition from the conventional method to new innovative techniques such as the aquaponics system. On the other hand, the lack of economic resources is one of the main limitations since the infrastructure needed to achieve an impact requires a large initial investment.

KEYWORDS: Aquaponic, impact, expectations, innovative, system.

1 INTRODUCCIÓN

Muchas regiones del mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que las ha llevado a sobreexplotar los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos, creando un impacto negativo en el ambiente. En los países en los que se depende del agua subterránea para el riego, como es el caso de México, el exceso de extracción está provocando que los niveles freáticos de agua dulce estén descendiendo a un ritmo muy alarmante. Aunado a lo anterior, el 77% del agua concesionada en México es utilizada en la agricultura; por tal razón, es urgente incrementar la eficiencia en el uso del agua en este sector [1].

La acuaponía puede definirse como la combinación de un sistema de acuicultura recirculante, con la hidroponía, definiendo acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en ambientes controlados, e hidroponía como el cultivo de plantas colocando las raíces en soluciones nutrientes [2], [3]. En términos generales se trata de generar un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos, que sirven como fuente de alimento para plantas. Estas a su vez al tomar estos nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico [3]; [4]; [5]. Todo el sistema parte de la premisa según la cual los desechos de los peces son muy similares a los requerimientos de las plantas para crecer y desarrollarse (Racocy, comunicación personal).

La Acuaponía como sistema recirculante se utiliza como una fuente de producción de alimentos que incluye la incorporación de peces, plantas y bacterias, organismos de ambientes distintos que nunca se han combinado en un ambiente natural, por lo

cual se crea un medio en donde puedan habitar las tres especies diferentes a través de un proceso simbiótico beneficiándose mutuamente a favor de un interés productivo “peces y plantas” [6].

Los sistemas acuapónicos automáticos, son una innovadora idea que está enfocada en resolver los problemas que actualmente tiene el sector de la agricultura y la piscicultura, esto debido a la falta de interés que hay en México por crear nuevos métodos de producción que sean más eficaces y amigables con el medio ambiente, puesto que tristemente hoy en día se preocupan más por generar economía que por cuidar nuestros recursos, que en un futuro posiblemente nos harán falta, el desarrollo de proyectos que se basan en innovar un nuevo método de producción de frutas y verduras y carpas rojas, el cual tiene como objetivo resolver tres de los problemas más alarmantes de la agricultura y la piscicultura. El primer problema a resolver es el excesivo consumo de agua. El segundo problema es el aumento de terrenos con tierras infértiles y por último ayudar a reducir la explotación de pesca en ríos o lagos. Por lo tanto, este trabajo está basado en el desarrollo y experimentación de un nuevo método de producción y lo más importante es contribuir al cuidado de los recursos naturales y el medio ambiente.

La acuaponía es un sistema para cultivo intensivo, su rendimiento es de 4 a 5 veces superior a los sistemas convencionales, por su constitución, el ahorro de recursos naturales, el ahorro de espacios y de agua, por ser este un sistema recirculante. Su producción se basa en peces para consumo y plantas (hortalizas). Este sistema tiene la ventaja de ahorrar recursos naturales. Debido al tipo de proceso este requiere de ciertas condiciones ambientales. Por lo cual, es fundamental la calidad del agua pues la dinámica de los compuestos nitrogenados, el carbono y demás nutrientes y su relación con las poblaciones bacterianas, peces y plantas se deben considerar estables con mínimas fluctuaciones o de lo contrario puede presentarse pérdidas gigantescas en el cultivo [7]. Las variables que se deben tener en cuenta es el pH, la temperatura, nitritos, nitratos, GH, KH, amonio y niveles de oxígeno. Si cualquiera de éstas llega a subir o bajar en niveles significativos se debe dar control de lo contrario se puede eliminar cualquiera de los tres organismos vivos del sistema (bacterias, plantas, peces) [8].

La propuesta que se presenta es para satisfacer las necesidades de consumo de una casa de 5 personas,

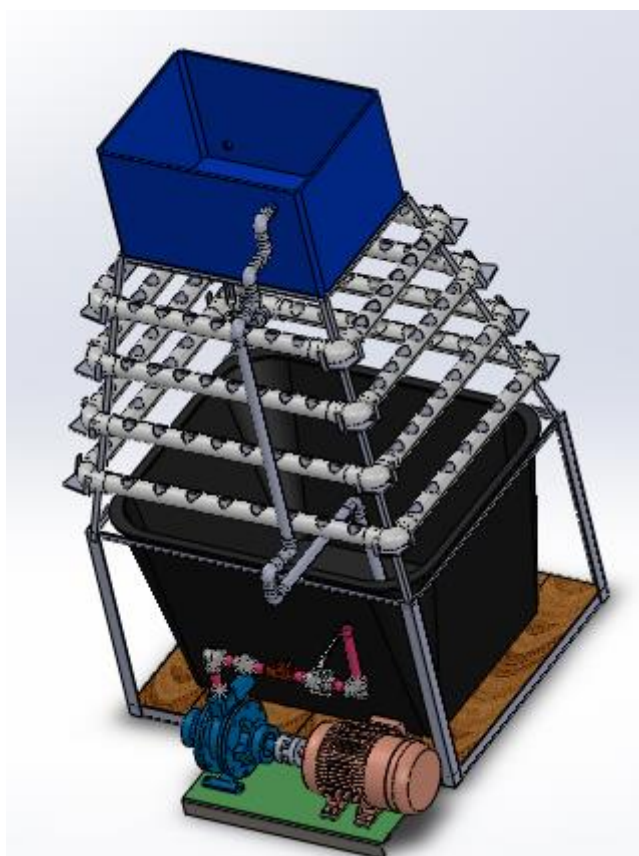


Fig. 1. *Diseño en SolidWorks del Sistema Acuapónico*

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO

El sistema acuapónico está compuesto por:

Un tanque, a este sistema lo complementan las tuberías y bomba para recirculado del agua, fraccionadores de espuma para la eliminación de los sedimentos sólidos y la materia orgánica en suspensión, un componente hidropónico, aquí el agua pasa y los nutrientes son absorbidos por las plantas, el amoníaco adicional y el nitrito son eliminados por bacterias que crecen en el tanque, el agua se almacena en un depósito adicional para devolverla al tanque de cultivo, donde se ubican los peces y se alimentan,

El Biofiltro y los componentes hidropónicos se combinan para mantener los sustratos de sujeción de las plantas tales como la grava y arena, estos a su vez funcionan como biofiltro. La hidroponía flotante, consiste en láminas de poliestireno y ollas de rejilla flotantes, su función es sujetar las plantas, proporcionando biofiltración.

2.2 CALIDAD DEL AGUA

La importancia la calidad del agua en el sistema acuapónico, se lo puede asemejar a la función de la sangre en el sistema circulatorio de un organismo animal, que provee y distribuye los nutrientes, el oxígeno y cumple, además con las funciones necesarias para el desarrollo saludable del mismo. El agua, provee los macros y micro nutrientes a los vegetales de cultivo, y es el medio por el cual los peces reciben además el oxígeno y donde emiten sus excreciones que luego se depurarán. Los cinco principales parámetros que definen la calidad del agua en un SRA son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, compuestos nitrogenados y alcalinidad.

Cada uno de estos parámetros físicos y químicos influyen directamente en los tres componentes principales del sistema: peces, plantas y bacterias; motivo por el cual debe alcanzarse una calidad de agua compatible en lo posible, con los rangos de tolerancia específicos.

2.2.1 TEMPERATURA

La temperatura es el factor que determinará la tasa metabólica de los peces, mantenerla en rangos para obtener el buen crecimiento de la especie seleccionada y no deberá sólo “ajustarse” simplemente a rangos de sobrevivencia. Dentro de los rangos de temperatura que toleran las especies de peces, las tasas de crecimiento aumentan a medida que la temperatura aumenta, hasta alcanzar la óptima de cada una. Sobre esta temperatura, los procesos metabólicos y requerimientos energéticos se incrementan al igual que las conversiones de alimento en carne (Factor Relativo de Conversión Alimentaria-FCR), perjudicando la rentabilidad.

2.2.2 OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno es el parámetro químico que incide en forma determinante sobre la calidad del agua, dado que, en su ausencia, es cuando más rápidos y drásticos efectos produce (los peces pueden morir en horas), así como también a bajas concentraciones, puede disminuir considerablemente el proceso de nitrificación, no llegando a completarse. El garantizar concentraciones altas de oxígeno en el sistema, es vital para los peces, los vegetales y también, de manera especial, para los distintos grupos de bacterias presentes en el sistema; que lo utilizan en los procesos claves (oxidación de los compuestos nitrogenados y en descomposición de la materia orgánica). La propuesta está diseñada para crear un sistema de aereación por caída.

Cada uno de estos parámetros físicos y químicos influyen directamente en los tres componentes principales del sistema: peces, plantas y bacterias; motivo por el cual debe alcanzarse una calidad de agua compatible en lo posible, con los rangos de tolerancia específicos.

2.2.3 PH DEL AGUA

El pH tiene una concentración de iones de hidrógeno en el agua (H^+). Se presenta en una escala logarítmica negativa (mayores valores=menores concentraciones de H^+), con valores que van en una escala del 1 al 14. Al ser la escala de tipo logarítmica, cada punto de diferencia representa concentraciones 10 veces mayores o menores; 2 puntos 100 veces, 3 puntos 1000 veces, y así sucesivamente. El punto medio, valor 7, se considera neutral ($H^+=OH^-$), los valores menores representan

acidez ($H^+ > OH^-$) y los valores mayores, basicidades ($H^+ < OH^-$). Cada uno de estos parámetros físicos y químicos influyen directamente en los tres componentes principales del sistema: peces, plantas y bacterias; motivo por el cual debe alcanzarse una calidad de agua compatible en lo posible, con los rangos de tolerancia específicos. Los valores cercanos a la neutralidad ($pH = 7$) son recomendables y deseables para el sistema.

2.2.4 DUREZA

Expresa la medida de iones positivos (cationes) en el agua, compuestos principalmente por Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}), y en menor medida por Hierro (Fe^{+2}). La dureza de los Carbonatos, o alcalinidad, es una medida de los carbonatos (CO_3^{--}) y bicarbonatos (HCO_3^-) presentes y disueltos en el agua, y se miden en mg/l de Carbonato de Calcio ($CaCO_3$). Tanto el Calcio como el Magnesio (al igual que otros micronutrientes como el hierro y el potasio), son nutrientes esenciales para las plantas, las que los toman directamente del agua, por lo que la dureza general es importante para el sistema acuapónico; pero la alcalinidad tiene una relación particular y determinante con el valor de pH del agua.

2.2.5 ALCALINIDAD

Los Carbonatos y Bicarbonatos, representan una medida de amortiguación de la alcalinidad del agua, también conocido como el poder “buffer” del agua, contra los potenciales descensos de la misma y sus consecuencias. La razón del poder neutralizante, es que estos compuestos poseen carga negativa y capturan los iones hidrógenos (H^+) liberados al agua, producto del proceso de nitrificación u otro proceso que aumente la acidez. La nitrificación, es un proceso que produce ácido nítrico y consume alcalinidad, por esta razón comúnmente, se deben agregar bases para mantener valores estables en el pH del agua.

2.3 METODOLOGÍA

La instalación acuapónica mostrada en la figura 2 corresponde al tipo “Baja Densidad” (de peces). Se elige este por la sencillez en el manejo y operación del sistema. Presenta las siguientes características:

- Un tanque para peces con capacidad de 1000lt
- Un decantador
- Un biofiltro
- Tuberías de PVC de 4 pulgadas
- Bomba con entrada de 1 pulgada y salida a $\frac{3}{4}$ de pulgada
- Sistema de control automático con aplicación de una tarjeta Arduino

2.3.1 FUNCIONAMIENTO

El circuito de agua sigue un flujo de recirculación continuo, por la tubería de PVC, consiste en la salida de agua desde el tanque de peces, pasando por el decantador (depósito cilíndrico), de este al filtro biológico (depósito cilíndrico), toda esta conducción por gravedad, al bombear el agua hasta el tanque de peces, donde se reparte su caudal en un 20% a la tubería de PVC y 80% al tanque de peces (tilapias rojas), estos peces se seleccionaron por ser una especie altamente filtradora.

La selección de hortalizas Es el sistema que aportará la mayor cantidad de ganancias debido al corto tiempo para cosecha en comparación con la acuicultura. A diferencia de los cultivos hidropónicos, las plantas producidas en acuaponía pueden obtener certificación orgánica puesto que los nutrientes son suministrados por los desechos de los peces. Las plantas que más se recomiendan en este sistema son las hortalizas de hoja (lechuga) y las plantas aromáticas (albahaca, menta, orégano), debido a que son cultivos de ciclos cortos.

Las plantas seleccionadas para ser producidas en acuaponía pueden obtener certificación orgánica puesto que los nutrientes son suministrados por los desechos de los peces. Las plantas que más se recomiendan en este sistema son las hortalizas de hoja (lechuga) y las plantas aromáticas (albahaca, menta, orégano), debido a que son cultivos de ciclos cortos.

Tabla 1. Requerimientos de los vegetales para el sistema acuapónico

Especie	pH	Planta/m ²	Tiempo de crecimiento (semana)	Temperatura	Exposición solar
Albaca	5.5-6.5	8 – 40	5 - 6	20 – 25	Moderada - Alta
Lechuga	6.0–7.0	20 - 25	4 – 5	15 - 22	Moderada – Alta
Pepino	5.5–6.5	2 – 5	7 – 9	18 – 26	Alta
Morrón	5.5–6.5	3 - 4	8 – 12	15 - 25	Alta
Tomate	5.5–6.5	3 - 5	8 – 12	15 - 25	Alta
Brócoli	6.0–7.0	3 - 5	8 - 12	10 - 20	Moderada-Alta

El sistema de filtración propuesto está constituido por un material filtrante (esponja foamex) que atrapa las partículas gruesas, las partículas finas son atrapadas (lana de perlón), la filtración biológica (canutillos de cerámica o biobolas de cuarzo), la filtración química se realiza con el carbón activado, estos elementos son colocados conforme se fueron mencionando para cumplir con su función, como se observa en la figura 2.



Fig. 2. Componentes del sistema de filtrado

La elaboración de la estructura se nombró sistema de cama de cultivo por vasos comunicantes, tomando como base un sistema de Hidroponía, de esta manera, se realizó el diseño de la estructura que permitirá aprovechar al máximo el espacio y no solo eso, sino que se conseguirá una simbiosis entre la hidroponía y la acuicultura. Para su construcción se utilizaron cinco tubos de PVC de 4pulgadas, 12 codos de 90grados, 4 T.

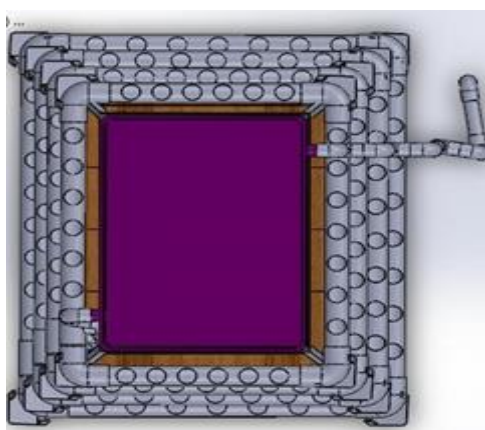


Fig. 3. Sistema de tuberías y ubicación de vegetales

El sistema eléctrico lo componen una regleta para conexiones, caja de conexiones, una bomba de agua de caudal regulable de 1500-3000Lt/h, un aireador con capacidad de 400Lt/h, una tarjeta Arduino, 4 sensores de temperatura, un relé para control. La fig. 4 muestra el diagrama de conexión de la bomba y el control de temperatura con Arduino.

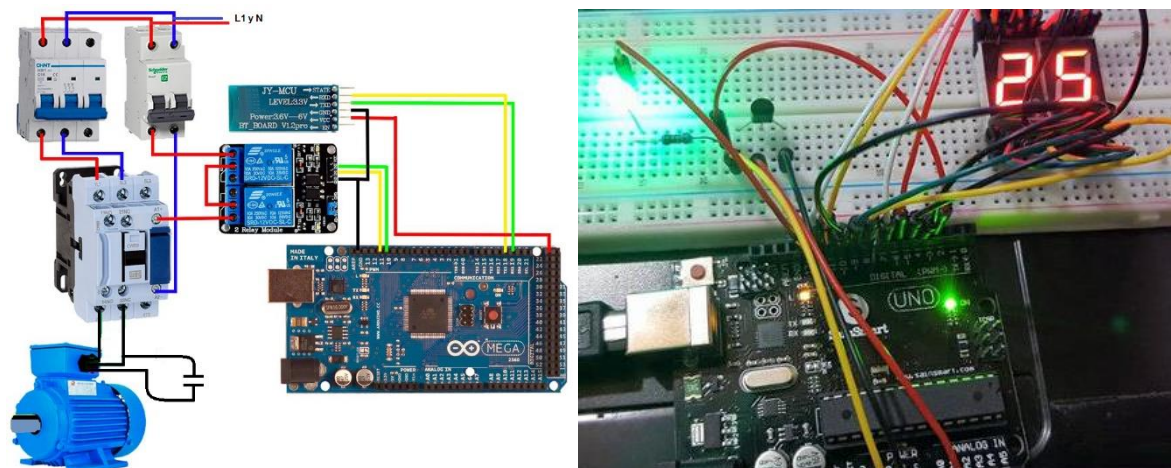


Fig. 4. Control de la bomba y control de temperatura con Arduino

En la imagen a continuación se muestra el sistema acuapónico terminado el cual está dividido en tres etapas la primera es la etapa de filtración en donde se lleva a cabo el procesamiento del agua para convertirla en agua rica en nutrientes para los vegetales, la segunda etapa son los tubos de cultivo en donde recircula agua con nutrientes y al mismo tiempo se limpia para regresar sin amoníaco al tanque evitando que intoxicación de las tilapias y por último se encuentra la etapa de producción de alevines de tilapias.



Fig. 5. Sistema acuapónico

3 RESULTADOS

Durante las pruebas del sistema acuapónico la temperatura se mantuvo entre los 20 y 30 °C, como se aprecia en la Fig. 6, con una temperatura media de 25 °C que es la adecuada para la producción tanto de los vegetales como de las tilapias.

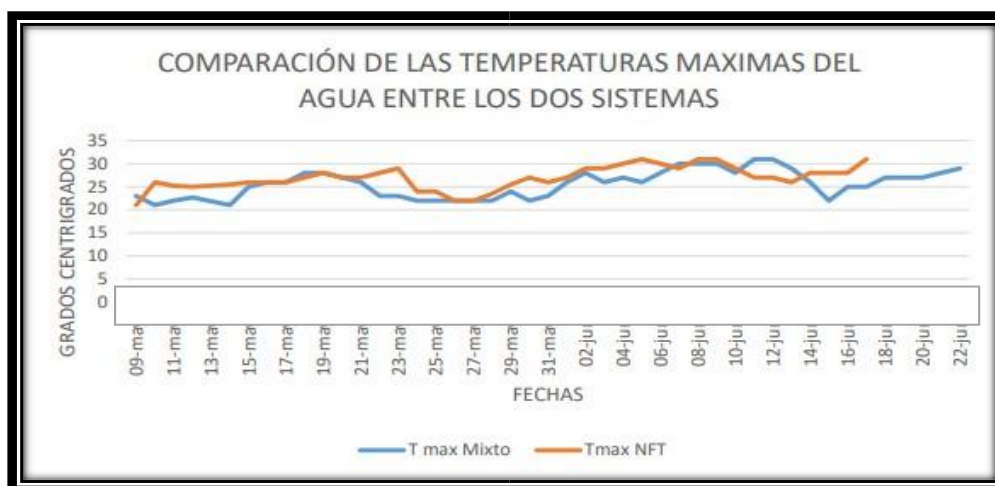


Fig. 6. Comportamiento de la temperatura del agua

El crecimiento que se observó en las plantas corresponde al nivel uno, que es la sección más baja del sistema, el nivel 2 corresponde al medio y el nivel tres al más alto.

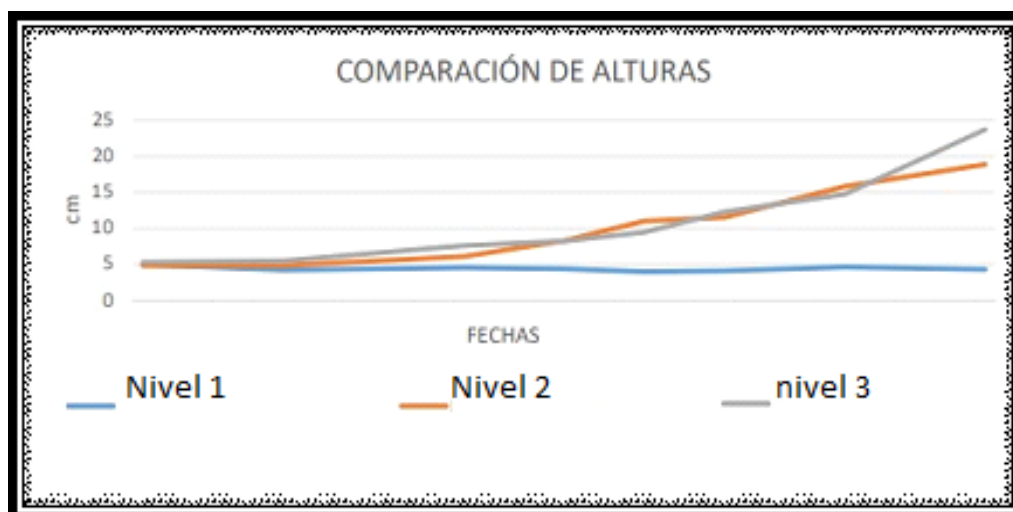


Fig. 7. Altura de las plantas por niveles

4 CONCLUSIÓN

1. En general, el proceso de montaje de las instalaciones resultó sencillo para operarios no especializados, siendo fácil localizar y adquirir los materiales necesarios.
2. Los resultados muestran una elevada supervivencia de pez y plantas de lechugas con densidades de cultivo de peces cercanas a 0,86 Kg/m³ para el sistema mixto y 1,4 Kg/m³.
3. La producción de lechugas en el sistema ha alcanzado valores próximos al sistema hidropónico convencional. Por lo tanto, podemos decir que más del 85% de las plantas recolectadas son consideradas comercializables.
4. Los sistemas propuestos en este proyecto, con baja densidad de peces, han resultado más interesante para la producción de vegetales principalmente, debido a la baja tasa de crecimiento de una especie.
5. Las plantas de lechugas sólo presentaron deficiencias de hierro y potasio durante el ensayo, síntomas habituales en los sistemas acuapónicos, y que fueron corregidos mediante aplicaciones foliares de Sulfato potásico y adicción al agua del circuito acuapónico.

REFERENCIAS

- [1] R. Salazar-Moreno and A. Rojano-Aguilar and I. L. López-Cruz “La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. V, núm. 2, pp. 177-183, 2014.
- [2] Malcolm J. Backyard aquaponics. A guide to building an aquaponic system. Joel Malcolm, Western Australia. 2005.
- [3] Parker R. Aquaculture science. Second edition. Delmar. Albany, NY. USA. 2002.
- [4] Nelson RL, Pade JS. Nutrient film technique aquaponics’. *Aquaponics Journal*. Número 42, pp18-21, 2006.
- [5] Van Gorder SD. Small scale aquaculture. The Alternative Aquaculture Association. Breinigsville, PA, USA. 2000.
- [6] Rakocy J. Questions and Answers. *Aquaponics Journal*. Número 34: 28-30, tercer trimestre. 2004.
- [7] Erazo, E. S, Orduz. Análisis de las características físico-químicas De aguas y suelos de cultivos acuícolas Inte nocivos y super intensivos. 2009.
- [8] Yanyong, R. Fish Health management considerations in recirculating aquaculture systems. Part 2: pathogens. University of Florida, IFAS extensión. Circular 121. 2003.obb.

Flore mellifère potentielle du site de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Centre-ouest Côte d'Ivoire): Quel intérêt apicole ?

[Potential melliferous flora of Jean Lorougnon Guédé University site (Daloa, Central-Western Côte d'Ivoire): What interest for beekeeping?]

Siendou Coulibaly¹, Djaha Kouame², Bernadin Dro¹⁻³, Benedicte Anna Adjua Yeboua², and Moreto Salla¹

¹UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

³Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Jean Lorougnon Guédé University (UJLoG) has a large site of about 400 hectares. The floristic diversity specially the richness of melliferous plants remain currently unknown. This is not helpful for modern beekeeping project on this area. This study was carried out to evaluate the potentially melliferous flora of this environment in order to promote beekeeping. Then, botanical surveys were carried out in all the university site and the resulting floristic list was compared to the three lists of known melliferous plants in Cote d'Ivoire. The results showed that 120 potentially melliferous species including 105 genera and 45 families were recorded. Euphorbiaceae and Fabaceae were the most diversified families. In addition, woody species (59%) were more abundant than herbaceous ones (41%). They are specially foraged for both nectar and pollen. As such, the flora of UJLoG site presents enormous melliferous potentialities that can support the practice of beekeeping. This flora needs an appropriate precaution.

KEYWORDS: Meliferous plants, Pollen, Nectar, Honeybee, Beekeeping, Côte d'Ivoire.

RESUME: L'Université Jean Lorougnon Guédé dispose d'un grand site d'environ 400 ha dont la composition floristique et la richesse en plantes mellifères restent actuellement inconnues. Cela ne permet pas de juger objectivement de la possibilité ou non de mener convenablement l'apiculture moderne sur ce site dont la grande partie est inexploitée. La présente étude visait donc à caractériser la flore potentiellement mellifère de ce milieu dans la perspective d'y promouvoir l'apiculture. Pour ce faire, des inventaires floristiques de surface et itinérants ont été effectués sur l'ensemble du site. La liste floristique obtenue a été confrontée à trois listes de références de plantes mellifères connues en Côte d'Ivoire. Au total, 120 espèces potentiellement mellifères, appartenant à 105 genres et 45 familles botaniques dont les plus diversifiées sont les Euphorbiaceae et les Fabaceae, ont été identifiées. Les espèces ligneuses y sont plus abondantes (59%) que les herbacées (41%). Ces espèces sont majoritairement butinées à la fois pour le nectar et le pollen (plantes nectaro-pollinifères). Les indices de valeurs d'importance ont révélé 9 espèces et 7 familles écologiquement importantes. La flore du site de l'UJLoG présente ainsi d'énormes potentialités mellifères pouvant soutenir la pratique de l'apiculture, mais des précautions idoines devraient être prises.

MOTS-CLEFS: Plantes mellifères, Pollen, Nectar, Abeille, Apiculture, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire a axé son économie sur l'agriculture qui est basée sur un système itinérant sur brûlis. Malheureusement, cette dernière constitue l'un des principaux moteurs de la dégradation du couvert forestier [1]. Ce qui a entraîné la disparition et à la raréfaction de nombreuses d'espèces végétales dont des plantes rares et endémiques [2].

Pour un développement durable, il s'avère nécessaire de trouver des solutions alliant la réduction de la pauvreté à la sauvegarde de la biodiversité [3]. Dans ce sens, l'apiculture apparaît comme une activité qui peut contribuer à relever ce double défi. En effet, l'élevage des abeilles mellifères permet d'augmenter les revenus monétaires des acteurs, de limiter la destruction des forêts et de générer une forte population d'agents pollinisateurs bénéfiques pour les végétaux en général et pour les cultures en particulier.

Afin de soutenir la promotion de l'apiculture moderne, plusieurs études ont été menées sur les plantes mellifères en Côte d'Ivoire [4], [5], [6].

Contrairement au Nord et au Centre de la Côte d'Ivoire où l'apiculture moderne est bien connue, à l'Ouest, les populations s'adonnent très peu à cette activité. Au Centre-ouest du pays, l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), à vocation agroforestière, avec une superficie d'environ 400 ha peu occupée et renfermant une certaine diversité végétale [7], pourrait valablement abriter une exploitation apicole. Cette exploitation apicole participerait à la formation des étudiants et constituerait un cadre d'insertion des jeunes apprenants par l'entrepreneuriat. Toutefois, la composition et la richesse de cette flore en plantes mellifères est actuellement inconnue. Ce qui ne permet pas de juger objectivement de la possibilité ou non de mener convenablement l'apiculture moderne sur ce vaste site quasiment inexploité.

Dans ce contexte, cette étude vise à caractériser la flore potentiellement mellifère du site de l'UJLoG. Il s'agit, plus spécifiquement, de déterminer la diversité des plantes potentiellement mellifères du site de l'UJLoG et d'analyser leur structure spatiale.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU DE L'ÉTUDE

Située au Nord-est de la ville de Daloa, l'Université Jean Lorougnon Guédé est repérée par 6°54'23.335 N de latitude et 6°26'22.542 O de longitude (Figure 1). Chef-lieu de département, Daloa appartient à la région du Haut-Sassandra, au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. La flore de la région est très variée, structurée en deux zones géographiques: l'une, forestière au Sud et occupant la majeure partie de la région avec une forêt dense semi-décidue à *Celtis* spp. et *Triplochiton scleroxylon* [8] et l'autre, zone savicole (ou savane pré-forestière), au Nord dominée par les espèces telles que *Albizia zygia*, *Imperata cylindrica*, *Detarium microcarpum* [9].

La faune de la zone est représentée aussi bien par des animaux de savanes que par ceux de forêts. Le climat est de type tropical humide avec une pluviométrie oscillant entre 1200 et 1600 millimètres par an et une température moyenne annuelle de 26 °C [10].

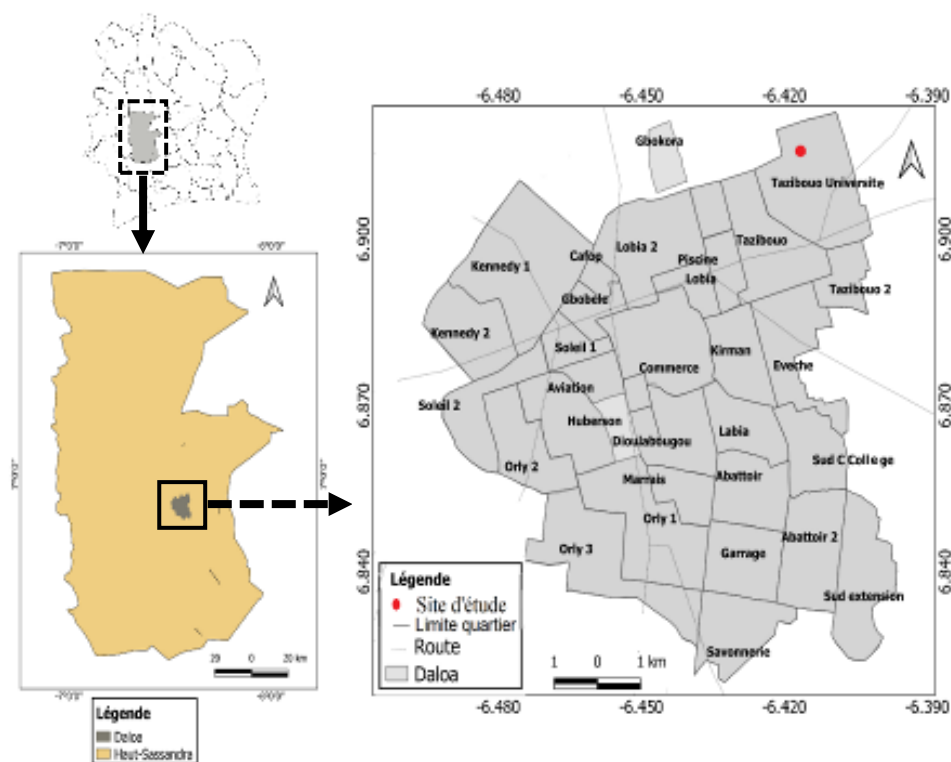


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.2 INVENTAIRE FLORISTIQUE ET MESURES DENDROMÉTRIQUES

Un inventaire floristique a été réalisé sur le site de l'UJLoG suivant deux méthodes complémentaires: les relevés de surface et les relevés itinérants. La méthode de relevés de surface a consisté à recenser les taxons rencontrés sur des surfaces rectangulaires de 500 m², soit 20 m x 25 m, distantes les unes des autres d'au moins 200 m [11] (Figure 2). Les sites comportant une forte densité végétale apparente ont été privilégiés au détriment de ceux occupés par des cultures et moins riches en taxons. Au total, 41 parcelles ont été inventoriées. Ainsi, toutes les espèces d'arbres, d'arbustes, de lianes et d'herbacées présentes dans ces parcelles ont été identifiées et listées. Quant à la méthode de relevés itinérants, elle a consisté à inventorier, hors des parcelles et au cours d'une promenade, les espèces non présentes dans les parcelles. Pour les plantes ligneuses, seuls les individus ayant un diamètre à hauteur de poitrine (dbh) supérieur ou égal à 3 cm ont été pris en compte. Leur dbh a alors été mesuré et noté. Ce dbh minimal a été choisi pour prendre en compte le maximum de petites plantes qui pourraient pourtant atteindre l'âge de la floraison [11].

Les espèces végétales ont été identifiées sur la base de la nomenclature de [12]. Cette nomenclature a été choisie pour faciliter la comparaison de nos résultats à ceux de recherches similaires antérieures. A l'issue de cet inventaire floristique, une première liste a été constituée: la liste floristique générale du site de l'UJLoG (liste 1).

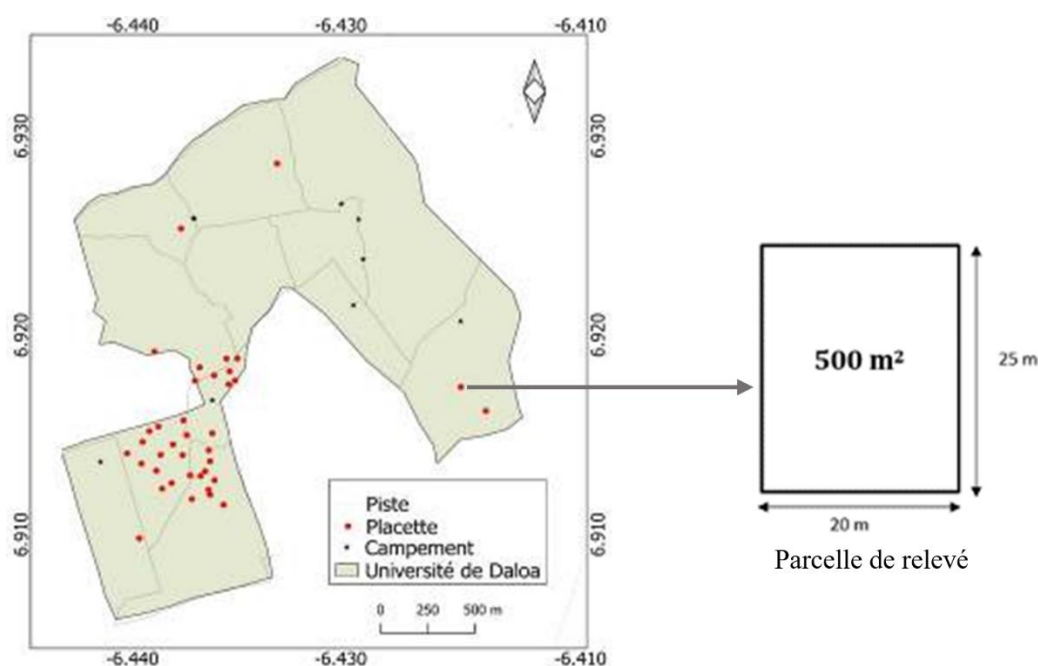


Fig. 2. Répartition des surfaces de relevés sur le site de l'UJLoG

2.3 RECENSEMENT DES ESPÈCES MELLIFÈRES IDENTIFIÉES EN CÔTE D'IVOIRE

Les plantes mellifères formellement identifiées dans d'autres régions de la Côte d'Ivoire ont été recensées à travers la références. Ainsi, trois principaux travaux de recherche ont été considérés: [4] qui a inventorié 128 espèces mellifères, [5] avec 160 espèces mellifères et [6] avec 126 espèces mellifères. Ces auteurs ont essentiellement procédé par des observations directes sur le terrain, respectivement dans les régions de Dimbokro (au Centre du pays), Yamoussoukro (au Centre) et Katiola (au Centre-nord). Les plantes mellifères issues de la synthèse de ces trois sources ont constitué une deuxième liste (liste 2).

2.4 IDENTIFICATION DES PLANTES POTENTIELLEMENT MELLIFÈRES DU SITE D'UJLOG

La liste floristique générale du site de l'UJLoG (liste 1) a été confrontée à celle des plantes effectivement mellifères (liste 2) pour ne retenir que les plantes mellifères présentes sur le site de l'UJLoG, en tenant compte des synonymes de [13]. Les espèces ainsi identifiées sont considérées comme potentiellement mellifères du site de l'UJLoG, car selon [14], une plante peut être mellifère (butinée) dans une région et ne pas l'être dans une autre.

2.5 ANALYSE DE LA DIVERSITÉ DES PLANTES POTENTIELLEMENT MELLIFÈRES DU SITE D'UJLOG

La diversité des espèces potentiellement mellifères a été appréciée à travers la richesse spécifique, la diversité en genres et en familles et les types bio-morphologiques. Ainsi, cinq types biologiques ont été considérés [15], [16]: les phanérophytes, les chaméphytes (Ch), les hémicryptophytes (H), les géophytes (G) et les thérophytes (Th). Quatre types morphologiques (arborescentes, arbustives, lianescentes et herbacées) ont été adoptés.

De plus, la nature des nutriments mellifères potentiels a permis de distinguer trois types de plantes mellifères [17]: les espèces nectarifères (qui fournissent uniquement le nectar), les espèces pollinifères (qui fournissent uniquement le pollen) et les espèces nectaropollinifères (à la fois nectarifères et pollinifères).

2.6 APPRÉCIATION DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES ESPÈCES LIGNEUSES ET DES FAMILLES BOTANIQUES

Les indices de valeur d'importance ont été décrits par [18] pour les espèces (IVI) et [19] pour les familles (VIF) afin de quantifier et de déterminer les taxons écologiquement importants dans un milieu donné. En effet, l'IVI permet de distinguer les espèces les plus dominantes, abondantes, fréquentes et, finalement, les plus importantes [20]. C'est la somme de la dominance relative, de la densité relative et de la fréquence relative des espèces du milieu.

$$\text{Dominance relative} = \frac{\text{Aire basale de l'espèce } i}{\text{Somme des aires basales de toutes les espèces}} \times 100$$

L'aire basale d'une espèce est la somme des sections des tiges de tous les individus de cette espèce. Aire basale (m^2/ha) = $\Sigma \pi D^2/4$, où D est le diamètre à hauteur de poitrine (dbh).

$$\text{Densité relative} = \frac{\text{Nombre d'individus de l'espèce } i}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100$$

$$\text{Fréquence relative} = \frac{\text{Nombre de placettes renfermant l'espèce } i}{\text{Nombre total de placettes}} \times 100$$

L'indice VIF a été calculé suivant le même principe appliqué aux familles botaniques.

Ces indices ont été utilisés car ils permettent de mieux exprimer l'abondance de chaque espèce inventoriée [21]. Dans cette étude, ils ont permis d'apprécier la contribution de chaque espèce ligneuse et de chaque famille au potentiel floristique mellifère du milieu.

Selon [22], les espèces ou les familles écologiquement importantes dans le milieu sont celles ayant une Valeur d'Importance supérieure à 10.

2.7 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les tableaux croisés dynamiques d'EXCEL 2016 ont été utilisés pour la synthèse des données, tandis que MVSP 3.1 a permis de calculer les indices de diversité.

3 RESULTATS

3.1 RICHESSE ET COMPOSITION EN PLANTES POTENTIELLEMENT MELLIFÈRES DU SITE DE L'UJLOG

Cent vingt (120) espèces potentiellement mellifères ont été identifiées sur le site de l'UJLoG (Tableau I). Ce qui représente 26,14% de l'ensemble de la flore du site estimé à 459 espèces. Ces espèces potentiellement mellifères se répartissent en 105 genres et 45 familles botaniques. Le genre le plus riche est *Dioscorea* (4 espèces), puis viennent les genres *Combretum*, *Albizia* et *Paspalum* (3 espèces chacun). Les familles les plus diversifiées sont les Euphorbiaceae et les Fabaceae avec respectivement 9 et 8 espèces, soit 7,5% et 6,67% de la flore mellifère potentielle. Ensuite viennent les Mimosaceae avec 7 espèces (6%) et les Poaceae avec 6 espèces soit 5% de cette flore (Figure 3). Par ailleurs, la flore à potentialité mellifère ainsi inventoriée est constituée de 71 espèces ligneuses, soit 59% et de 49 espèces herbacées, soit 41%.

Tableau 1. Liste des plantes potentiellement mellifères du site de l'UJLoG et leurs caractéristiques bio-morphologiques et apicoles

Famille	Espèce	TB	TM	Nut.
Acanthaceae	<i>Justicia secunda</i> Vahl	np	Herbe	P
Amaranthaceae	<i>Alternanthera pungens</i> Kunth	Ch	Herbe	N
	<i>Cyathula prostrata</i> (L.) Blume	Ch	Herbe	N-P
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	mp	Arbre	N-Js
	<i>Mangifera indica</i> L.	Mp	Arbre	N-Js-R
	<i>Spondias mombin</i> L.	mp	Arbre	N
Apocynaceae	<i>Alstonia boonei</i> De Wild	MP	Arbre	N-P
	<i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don) T. Durand & Schinz	mP	Arbre	N-P
	<i>Rauvolfia vomitoria</i> Afzel.	mp	Arbre	N
Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	mP	Arbre	P
Asclepiadaceae	<i>Exolobus patens</i> (Decne.) E. Fourn.	mp	Liane	N-P
	<i>Secamone afzelii</i> (Schult.) K. Schum	mp	Liane	N
Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Th	Herbe	P
	<i>Bidens pilosa</i> L.	Th	Herbe	N-P
	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R. M. King & H. Rob.	np	Herbe	N-P
	<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray	np	Herbe	N-P
	<i>Tridax procumbens</i> L.	Ch	Herbe	N-P
Bombacaceae	<i>Bombax buonopozense</i> P. Beauv.	MP	Arbre	N-P
	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	MP	Arbre	N-P
Boraginaceae	<i>Cordia senegalensis</i> Juss.	mP	Arbre	N
Caesalpinaceae	<i>Cassia siamea</i> Lam.	mP	Arbre	N-P
	<i>Daniellia oliveri</i> Hutch. & Dalz.	mP	Arbre	N
	<i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr.	mp	Arbre	N-P
	<i>Detarium senegalense</i> J.F. Gmel.	mP	Arbre	N
	<i>Erythrophleum suaveolens</i> (Guill. & Perr.) Brenan	mP	Arbre	N
Cannabaceae	<i>Trema orientalis</i> (L.) Blume	mp	Arbuste	N
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	mp	Arbuste	N-P
Combretaceae	<i>Combretum mucronatum</i> Schumach. & Thonn	mp	Liane	N-P
	<i>Combretum paniculatum</i> Vent.	mp	Liane	N
	<i>Combretum racemosum</i> P. Beauv.	mp	Liane	N
	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	MP	Arbre	N
	<i>Terminalia mentaly</i> H. Perrier	mp	Arbre	N-P
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	np	Herbe	N
Connaraceae	<i>Cnestis ferruginea</i> DC.	mp	Liane	N-P
Convolvulaceae	<i>Ipomoea mauritiana</i> Jacq.	mp	Liane	N
	<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	Th	Herbe	N
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	G	Herbe	P
Dilleniaceae	<i>Tetracera alnifolia</i> Willd.	mp	Liane	P
	<i>Dioscorea bulbifera</i> L. Dioscoreaceae	G	Herbe	N-P
	<i>Dioscorea burkilliana</i> J. Miège	G	Herbe	N-P
	<i>Dioscorea cayenensis</i> Lam.	G	Herbe	N-P
	<i>Dioscorea minutiflora</i> Engl.	G	Herbe	N-P
Euphorbiaceae	<i>Acalypha racemosa</i> Baill	mp	Arbuste	N-P
	<i>Antidesma venosum</i> Tul.	mp	Arbre	N
	<i>Croton hirtus</i> L'Hér.	np	Herbe	P
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Th	Herbe	N-P
	<i>Flueggea virosa</i> (Willd.) Voigt	np	Herbe	N-P
	<i>Jatropha curcas</i> L.	np	Herbe	N
	<i>Mallotus oppositifolius</i> (Geiseler) Müll. Arg	mp	Arbre	P
	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	mp	Arbuste	P
	<i>Ricinus communis</i> L.	mp	Arbre	P

Flore mellifère potentielle du site de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Centre-ouest Côte d'Ivoire): Quel intérêt apicole ?

Fabaceae	<i>Arachis hypogaea</i> L.	Th	Herbe	P
	<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	mp	Liane	N
	<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	mp	Liane	N
	<i>Crotalaria retusa</i> L.	np	Arbre	N
	<i>Dalbergia hostilis</i> Benth.	mp	Liane	N
	<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Khunt.	mp	Arbre	N
	<i>Millettia zechiana</i> Harms	mp	Arbre	N-P
	<i>Philenoptera cyanescens</i> (Schumach. & Thonn.) Roberty	mp	Liane	N
Lamiaceae	<i>Hoslundia opposita</i> Vahl	np	Arbuste	N
	<i>Ocimum americanum</i> L.	np	Arbuste	N
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	mp	Arbuste	N-P
Loganiaceae	<i>Anthocleista nobilis</i> G. Don	mP	Arbuste	N-P
	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	Th	Herbe	N
Malpighiaceae	<i>Triaspis odorata</i> (Willd.) A. Juss.	mp	Liane	P
Malvaceae	<i>Adansonia digitata</i> L.	mP	Arbre	N-P
	<i>Sida acuta</i> Burm.f.	np	Herbe	N-P
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	mp	Arbre	N
	<i>Trichilia prieuriana</i> A. Juss.	mp	Arbre	N-P
Mimosaceae	<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth.	mP	Arbre	N-P
	<i>Albizia lebeck</i> (L.) Benth.	mp	Arbuste	P
	<i>Albizia zygia</i> (DC.) J.F. Macbr.	mP	Arbre	N-P
	<i>Entada mannii</i> (Oliv.) Tisser.	mP	Liane	P
	<i>Mimosa pudica</i> L.	np	Liane	N-P
	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) G. Don	mp	Arbre	N-P
	<i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook. f.) Brenan	MP	Arbre	N-P
Moraceae	<i>Ficus exasperata</i> Vahl	mp	Arbre	R
	<i>Ficus sur</i> Forssk.	mP	Arbre	R
	<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C. C. Berg	MP	Arbuste	N-P
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	G	Herbe	N
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	mp	Arbuste	N-P
Nyctaginaceae	<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Ch	Herbe	N-P
	<i>Nymphaea lotus</i> L.	H	Herbe	N-P
Olacaceae	<i>Olax subscorpioidea</i> Oliv.	mp	Arbre	N
Passifloraceae	<i>Adenia cissampeloides</i> (Hook.) Harms	mp	Liane	N-P
	<i>Passiflora edulis</i> Sims	mp	Liane	N-P
	<i>Passiflora foetida</i> L.	mp	Liane	N-P
Periplocaceae	<i>Mondia whitei</i> (Hook.f.) Skeels	mp	Liane	N
	<i>Periploca nigrescens</i> Afzel.	mp	Liane	N-P
Poaceae	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	H	Herbe	P
	<i>Paspalum conjugatum</i> P. J. Bergius	H	Herbe	N
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	H	Herbe	N
	<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.	H	Herbe	N
	<i>Sporobolus pyramidalis</i> P. Beauv.	H	Herbe	P
	<i>Zea mays</i> L.	Th	Herbe	N-P
Portulacaceae	<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Willd.	np	Herbe	N
Rubiaceae	<i>Chassalia kolly</i> (Schumach.) Hepper	np	Arbuste	N-P
	<i>Coffea canephora</i> A. Froehner	mp	Arbre	N-P
	<i>Nauclea latifolia</i> Sm.	mp	Liane	N
	<i>Psydrax parviflora</i> (Afzel.) Bridson	mp	Arbre	N
	<i>Spermacoce verticillata</i> L.	np	Herbe	N
Rutaceae	<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. f.	mp	Arbuste	N-P
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	mp	Arbuste	N-P
Sapindaceae	<i>Allophylus africanus</i> P. Beauv	mp	Arbuste	N

	<i>Blighia sapida</i> K. D. Koenig	mP	Arbre	N
	<i>Blighia unijugata</i> Baker	mP	Arbre	N
	<i>Cardiospermum grandiflorum</i> Sw.	mp	Liane	N
	<i>Paullinia pinnata</i> L.	mp	Liane	N
Simaroubaceae	<i>Harrisonia abyssinica</i> Oliv.	mp	Arbre	N-P
Solanaceae	<i>Solanum aethiopicum</i> L.	mp	Arbre	N
Sterculiaceae	<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl.	mP	Arbre	N
	<i>Theobroma cacao</i> L.	mp	Arbre	N-P
	<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	MP	Arbre	P
	<i>Waltheria indica</i> L.	np	Herbe	N-P
Tiliaceae	<i>Grewia carpinifolia</i> Juss.	mp	Liane	P
	<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	np	Herbe	P
Verbenaceae	<i>Clerodendrum polycephalum</i> Baker	np	Herbe	N
	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	mp	Arbre	N
	<i>Tectona grandis</i> L. f.	mP	Arbre	N-P
	<i>Vitex doniana</i> Sweet	mp	Arbre	N

TB: Type biologique (np: nanophanérophytes, mp: microphanérophytes, mP: mésophanérophytes, MP: mégaphanérophytes, Ch: chaméphytes, H: hémicryptophytes, G: géophytes, Th: Thérophytes), TM: Type morphologique, Nut.: Nutrimment prélevé par l'abeille (P: Pollen, N: Nectar, Js: Jus sucré, R: Résine)

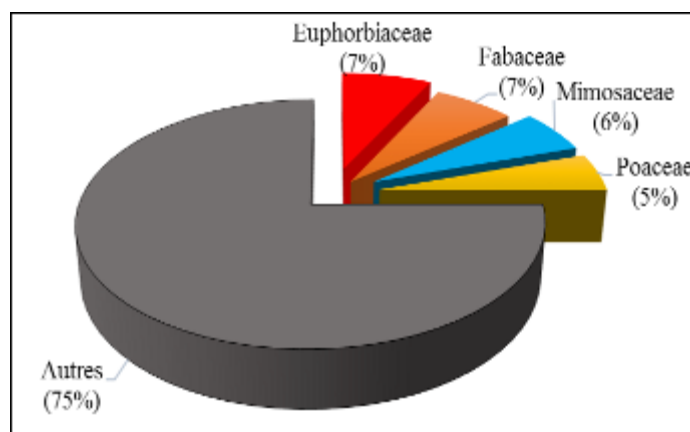


Fig. 3. Spectre de représentativité des familles les plus diversifiées en espèces potentiellement mellifères du site d'UJLoG

3.2 DIVERSITÉ DES PLANTES POTENTIELLEMENT MELLIFÈRES DU SITE D'UJLOG

Dans tous les milieux, les microphanérophytes (arbustes de 2 à 8 m de hauteur) sont plus abondants que les autres types biologiques. En effet, ils renferment 36 à 48% des espèces mellifères. Ils sont suivis des nanophanérophytes et des mésophanérophytes qui représentent chacun 13 à 19% de la flore mellifère potentielle du site. Les chaméphytes, les mégaphanérophytes et les géophytes sont minoritaires dans tous les milieux, avec 1 à 3% de la flore inventoriée (Figure 4).

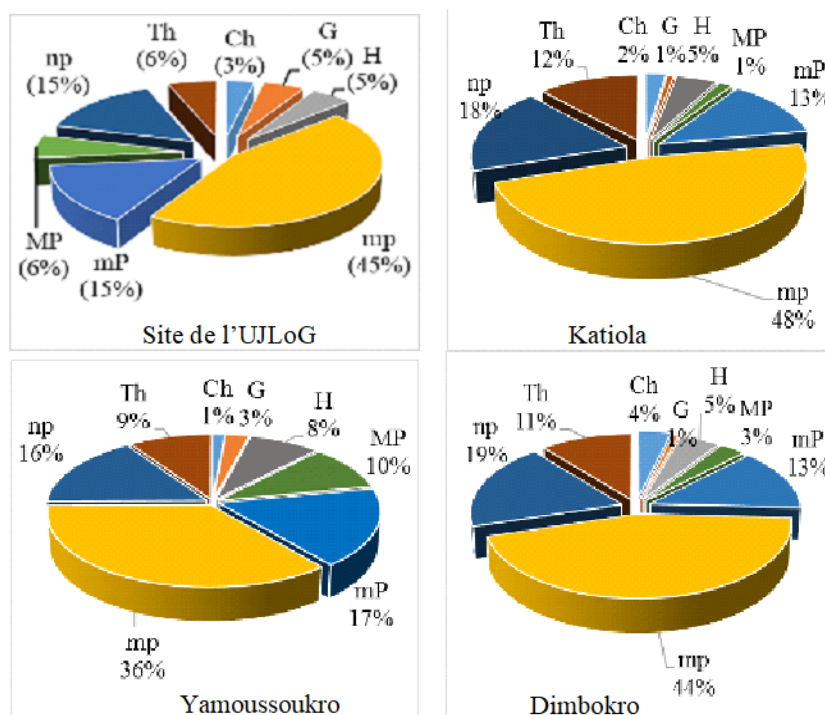


Fig. 4. Spectre de répartition en types biologiques des espèces mellifères du site de l'UJLoG et des trois sites apicoles de référence

np: nanophanérophytes, mp: microphanérophytes, mP: mésophanérophytes, MP: mégaphanérophytes, Th: thérophytes, Ch: chaméphytes, G: géophytes, H: hydrophytes

Au niveau des types morphologiques, les arbres sont plus dominants sur les sites de l'UJLoG (37%) et de Dimbokro (47%); tandis que les arbustes prédominent la flore mellifère de Katiola et de Yamoussoukro (51% et 46% respectivement). Toutefois, les herbacés mellifères sont non négligeables sur les sites de l'UJLoG (30%) et de Yamoussoukro (37%) (Figure 5).

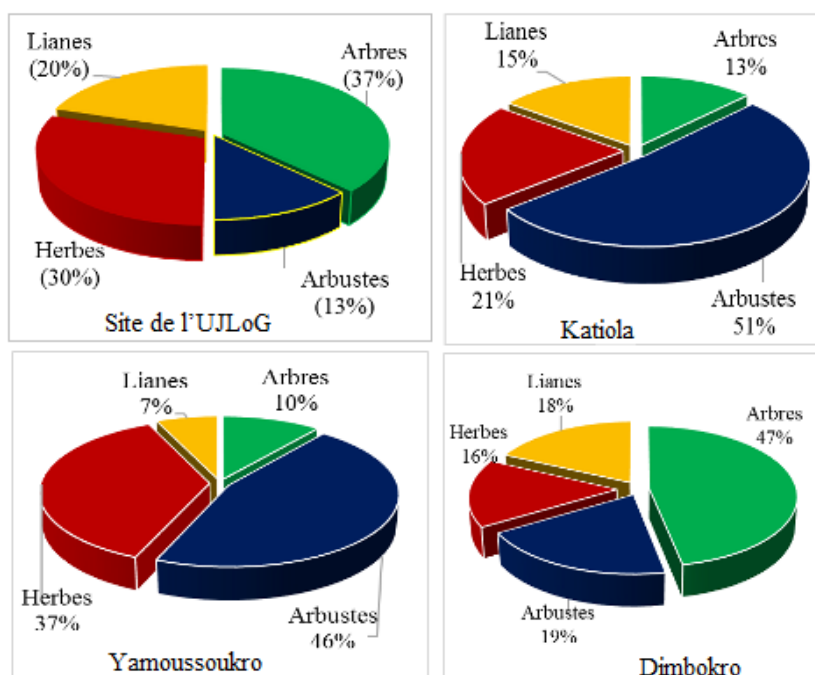


Fig. 5. Spectre de répartition en types morphologiques des espèces mellifères du site de l'UJLoG et des trois sites apicoles de référence

Les plantes inventoriées sont susceptibles de fournir aux abeilles des nutriments variés (Figure 6). Il s'agit, en premier lieu, à la fois du nectar et du pollen, pour 43% des espèces mellifères du site de l'UJLoG et 51% de celles de Yamoussoukro. Le nectar uniquement est prélevé sur 39% et 27% des plantes mellifères respectivement dans ces deux localités. En ce qui concerne les localités de Katiola et de Dimbokro, les plantes mellifères sont butinées en premier lieu pour le nectar uniquement (42% et 45% respectivement), puis à la fois pour le nectar et le pollen (40% et 31% respectivement). Seules 15 à 22% des plantes mellifères sont butinées pour le pollen uniquement.

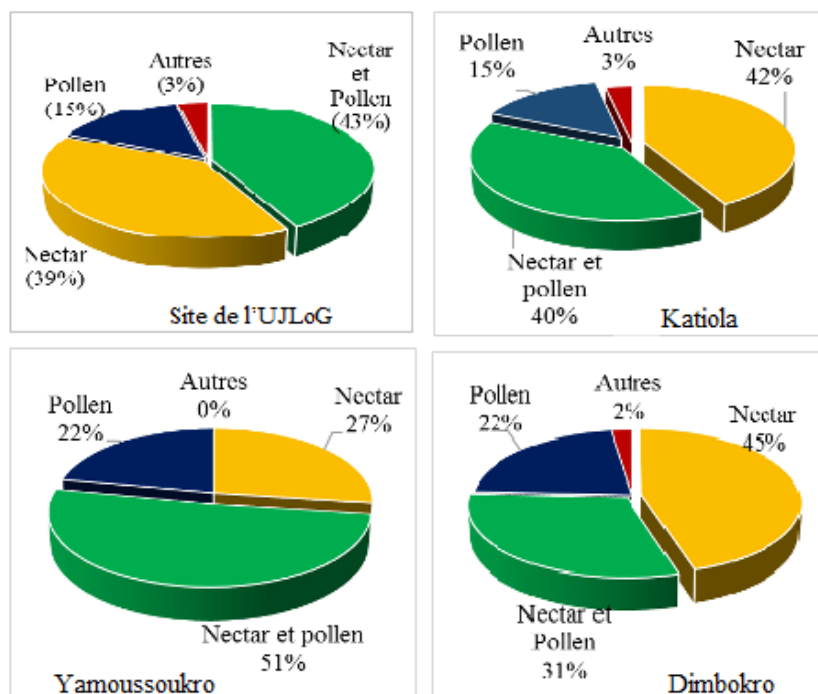


Fig. 6. Spectre de répartition des plantes mellifères selon le nutriment prélevé par les abeilles sur le site de l'UJLoG et sur les trois sites apicoles de référence

3.3 ESPÈCES ET FAMILLES ÉCOLOGIQUEMENT IMPORTANTES SUR LE SITE DE L'UJLOG

L'indice de valeur d'importance des espèces (IVI), calculé pour les plantes ligneuses potentiellement mellifères ayant un dbh ≥ 3 cm, a révélé neuf (9) espèces écologiquement importantes dans le milieu, car leur IVI est supérieur à 10 (Tableau II). Ces espèces totalisent 213, soit une contribution cumulée de 71% par rapport à l'ensemble des espèces ligneuses potentiellement mellifères du site.

Tableau 2. Espèces ligneuses potentiellement mellifères écologiquement importantes sur le site de l'UJLoG

Espèce	Dominance relative (%)	Densité relative (%)	Fréquence relative (%)	IVI
<i>Holarrhena floribunda</i>	14,28	18,09	7,98	40,35
<i>Albizia zygia</i>	8,40	17,90	11,76	38,06
<i>Coffea canephora</i>	5,18	19,84	3,36	28,38
<i>Terminalia ivorensis</i>	21,04	1,75	3,36	26,16
<i>Albizia lebbeck</i>	13,70	6,03	4,20	23,93
<i>Sterculia tragacantha</i>	3,05	5,74	8,82	17,61
<i>Ficus sur</i>	12,21	1,75	2,94	16,90
<i>Elaeis guineensis</i>	2,53	2,82	5,88	11,23
<i>Theobroma cacao</i>	4,87	3,40	2,10	10,37
Total IVI supérieur à 10	85,25	77,33	50,42	213

IVI: Indice de valeur d'importance des espèces

En ce qui concerne les familles, sept (7) sont écologiquement importantes dans le milieu, celle des Mimosaceae (69,28) étant la plus indicatrice (Tableau III). La somme de leur indice FIV est de 240,31, soit une contribution de 80% par rapport à l'ensemble des familles ligneuses potentiellement mellifères du site.

Tableau 3. *Familles ligneuses potentiellement mellifères écologiquement importantes sur le site de l'UJLoG*

Famille	Dominance relative (%)	Densité relative (%)	Fréquence relative (%)	VIF
Mimosaceae	24,63	27,72	16,92	69,28
Apocynaceae	14,47	19,55	10,26	44,28
Combretaceae	21,18	3,11	7,69	31,98
Sterculiaceae	8,23	9,73	12,82	30,78
Rubiaceae	5,18	19,84	4,10	29,13
Moraceae	12,34	2,82	7,18	22,34
Arecaceae	2,53	2,82	7,18	12,53
Total VIF supérieur à 10	88,55	85,60	66,15	240,31

VIF: Indice de valeur d'importances des familles

4 DISCUSSION

La flore du site de l'UJLoG est composée de 120 espèces à potentialités mellifères, réparties en 105 genres et 45 familles botaniques. Cette richesse spécifique en plantes mellifères reste relativement proche de celle obtenue par [4]. En effet, cet auteur a recensé 128 espèces mellifères réparties en 105 genres et 51 familles. Cette proximité de la richesse floristique pourrait être due au fait que cet auteur a travaillé dans une zone de transition forêt-savane, similaire à celle de l'UJLoG. Toutefois, la légère infériorité du nombre d'espèces de la présente étude pourrait s'expliquer par le fait que nous avons échantillonné une superficie plus petite que celle de cet auteur. De plus, [4] a utilisé deux méthodes d'inventaires, à savoir l'observation directe de terrain et l'analyse pollinique d'échantillons de miel, alors que nous avons utilisé une approche comparative.

Les familles les plus diversifiées en espèces sont les Euphorbiaceae, les Fabaceae, les Mimosaceae et les Poaceae. La forte dominance des Euphorbiaceae s'expliquerait par le fait qu'elles constituent l'une des familles caractéristiques des formations végétales naturelles de la zone guinéenne [17]. En effet, le milieu d'étude est une zone de transition entre la zone guinéenne au Sud et la zone soudanienne au Nord, avec une forte prédominance de la première.

Selon [23], les Leguminosae (Fabaceae, Mimosaceae et Caesalpinaceae) sont des familles à haute valeur mellifère. Ainsi, leur prédominance sur le site de l'UJLoG est un atout significatif pour la production du miel. Aussi, la dominance des Poaceae est la conséquence d'une perturbation du milieu, du fait des pratiques agricoles mais aussi des feux de brousses qui surviennent durant la saison sèche. En effet, selon [24] et [25], dans les zones à emprises agricoles, les familles dominantes en espèces mellifères sont les Poaceae et les Asteraceae.

Au niveau des types biologiques, les microphanérophytes sont les plus représentés sur le site de l'UJLoG (45%). Ce taux corrobore les résultats de [26] et [6]. Le taux élevé de microphanérophytes (arbustes de 2 à 8 m de hauteur) est révélateur d'une dégradation du milieu due aux activités anthropiques [27].

Les arbres (37%) constituent le type morphologique le plus abondant sur le site de l'UJLoG. Ce résultat est en adéquation avec celui de [6]. La prédominance des espèces arborescentes est certainement un atout majeur pour la pratique de l'apiculture. En effet, les plantes ligneuses ont un potentiel mellifère beaucoup plus important que les plantes herbacées [4], leurs fleurs produisant les plus grandes quantités de nutriments (nectar, pollen). Ceci justifierait le résultat selon lequel les plantes potentiellement mellifères du site de l'UJLoG sont essentiellement butinées à la fois pour le nectar et le pollen; le pollen uniquement n'étant prélevé que très peu dans l'ensemble des milieux. Ce résultat confirme celui de [5] mais diffère de celui de [6] et de [4] qui ont montré que la plupart des plantes mellifères sont butinées en premier lieu pour le nectar uniquement, puis à la fois pour le nectar et le pollen. Cette différence pourrait s'expliquer par la dépendance de la production du nectar au climat et à la latitude [14]. Ainsi, une espèce attrayante pour les abeilles, du fait de sa production élevée de nectar, peut ne plus l'être au profit d'un meilleur choix dans le milieu [28].

Au total, les espèces nectarifères représentent 82% de la flore potentiellement mellifère du site de l'UJLoG. Par conséquent, ce milieu présente une très grande aptitude à l'apiculture, car la potentialité mellifère d'une région dépend de sa richesse en plantes nectarifères [29].

L'analyse de l'indice de valeur d'importance des espèces (IVI) et des familles (FIV) a révélé 9 espèces et 7 familles comme étant écologiquement importantes sur le site de l'UJLoG. Ce résultat est proche de celui révélé par [3]. Selon [30], l'IVI permet d'évaluer la disponibilité des espèces mellifères dans une zone donnée. Ainsi, sur le site de l'UJLoG, l'apiculture devrait s'appuyer à 71% sur les nutriments de ces espèces (*Holarrhena floribunda*, *Albizia zygia*, *Coffea canephora*, *Terminalia ivorensis*, *Albizia lebbeck*, *Sterculia tragacantha*, *Ficus sur*, *Elaeis guineensis* et *Theobroma cacao*) et à 80% sur ceux de ces familles (Mimosaceae, Apocynaceae, Combretaceae, Sterculiaceae, Rubiaceae, Moraceae et Arecaceae) importantes dans le milieu.

5 CONCLUSION

La flore du site de l'UJLoG est riche de 120 espèces potentiellement mellifères, réparties en 105 genres et 45 familles botaniques. Les familles les plus dominantes en espèces sont les Euphorbiaceae, les Fabaceae, les Mimosaceae et les Poaceae; les Mimosaceae étant la plus écologiquement importante. De plus, neuf espèces ligneuses sont écologiquement importantes sur le site étudié. Les 82% des plantes potentiellement mellifères du site de l'UJLoG sont susceptibles de procurer du nectar aux abeilles. Ce nutriment (le nectar) étant indispensable à la production apicole, ce résultat témoigne donc de la possibilité de la pratique de l'apiculture sur le site inexploité de l'Université Jean Lorougnon Guédé. Toutefois, la prédominance des microphanérophytes (arbustes de 2 à 8 m de hauteur), révélatrice d'une dégradation anthropique du milieu, suggère la prise de précautions préalables, notamment pour la sécurité des ruches.

REFERENCES

- [1] Fairhead J. & Leach M., Reframing deforestation: global analyses and local realities study in West Africa. Routledge, global environmental series, London, England, 238 p., 1998.
- [2] Aké Assi L., Flore de la Côte d'Ivoire: Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Tome I. II. III. Thèse de doctorat des sciences Naturelles, F.A.S.T. Université Abidjan, 1205 p., 1984.
- [3] Simalé D.K.M. Diversité floristique et usage du miel en zone de transition forêt savane de Côte d'Ivoire: Cas du milieu apicole de Toumodi. Mémoire de Master, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 41 p., 2016.
- [4] Coulibaly S., Potentialités de production mellifère de la flore de transition forêt-savane, en zone guinéenne, et caractérisations pollinique et physico-chimique de quelques miels de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat de l'Université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 194 p., 2014.
- [5] Iritié B.M., Wandan E.N., Paraiso A.A., Fantodji A. & Gbomene L.L., Identification des plantes mellifères de la zone agroforestière de l'école supérieure agronomique de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). European Scientific Journal 30, pp. 10-30, 2014.
- [6] Kouassi D.F., Ouattara D., Coulibaly S. & N'guessan K.E., Diversity of Honey Plants in Sub-Sudanese Savanna Area (Central-North of Côte D'Ivoire). Scholars Academic Journal of Biosciences 7 (2), pp. 51-65, 2019.
- [7] Koffi K.A.B., Contribution à l'étude de la diversité floristique du site de l'Université Jean Lorougnon GUEDE (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire de Master, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 40 p., 2019.
- [8] Guillaumet J.L. & Adjanohoun E., La végétation de la Cote d'Ivoire. In: Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM. N° 50, Paris, France, pp. 161-263., 1971.
- [9] Tiebré M.S., Ouattara D., Yao A.Y.C., Gnagbo A. & Kouakou E., Caractérisation de la flore et de la végétation et potentiel de conservation de la biodiversité végétale en zone d'activité anthropique dans le Nord-est de la Côte d'Ivoire. International journal of innovation and applied studies 17 (3), pp. 893-900, 2016.
- [10] Koffie B.C.Y. & Kra K.S., La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement 2, pp. 95-103, 2013.
- [11] Coulibaly S., Ouattara D., Édorh T., Koudégan C.M. & Kamanzi K., Diversité et configuration de la flore ligneuse autour d'un rucher en zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire. European Scientific Journal 9 (6), pp. 235-247, 2013.
- [12] Cronquist A., An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York, USA, 1262 p., 1981.
- [13] Chatelain C., Aké Assi L., Spichiger R. & Gautier L., Cartes de distribution des plantes de Côte d'Ivoire. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève. Boissiera 64, 327 p., 2011.
- [14] De Layens G. & Bonnier G. Cours complet d'apiculture et conduite d'un rucher isolé. Editions Belin. 458 p., 1997.
- [15] Aké Assi L., Flore de la Côte d'Ivoire: catalogue systématique, biogéographie et écologie, I. Éditions des Conservatoire et Jardin Botaniques, Boissiera 57, Genève, Switzerland, 396 p., 2001.
- [16] Aké Assi L., Flore de la Côte d'Ivoire: catalogue systématique, biogéographie et écologie, II. Éditions des Conservatoire et Jardin Botaniques, Boissiera 58, Genève, Switzerland, 401 p., 2002.
- [17] Yédomonhan H., Plantes mellifères et potentialités de production de miel en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 273 p., 2009.
- [18] Cottam G. & Curtis J.T., The use of distance measurements in phytosociological sampling. Ecology 37, pp. 451-460, 1956.
- [19] Mori S.A., Boom B.M., De Carvalino A.M. & Dos Santos T.S., Southern Bahai moist forest. Bot. Rev. 49 (2), pp. 155-232, 1983.

- [20] Doucet J.L., Régénération naturelle dans la forêt des Abeilles. Gembloux, Belgique. Faculté Universitaire des sciences agronomiques (document interne), 127 p., 1996.
- [21] Lejoly J., Les recherches sur la biodiversité végétale dans les 6 sites du programme Ecofac entre 1997 et 2000. Rapport final du Programme Conservation et utilisation rationnelle des écosystèmes forestiers en Afrique centrale (Ecofac), Université Libre de Bruxelles, 96 p., 2000.
- [22] Reitsma J.M., Forest vegetation in Gabon. Tropenbos technical series 1, Tropenbos Foundation, The Netherlands, 142 p., 1988.
- [23] Guinko S., Guenda W., Tamini Z. & Zoungrana I., Les plantes mellifères de la zone Ouest du Burkina Faso. Études, flor. Vég. Burkina Faso 1, pp. 27-46, 1992.
- [24] Bakenga M., Bahati M. & Balagizi K., Inventaire des plantes mellifères de Bukavu et ses environs (Sud-Kivu, Est de la République Démocratique du Congo). Tropicultura 18 (2), pp. 89-93, 2002.
- [25] Fohounfo H.T., Plantes mellifères et composition pollinique des miels de la petite saison des pluies et de la grande saison sèche au sud Bénin. Mémoire du Diplôme d'Ingénieur des Travaux (DIT), Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 56 p., 2002.
- [26] Kouman K.J.M., Suivi de la régénération naturelle de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire): mise en place du dispositif expérimental et état initial de la flore. Mémoire de Master, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 82 p., 2018.
- [27] Kokou K. & Caballé G., Les îlots forestiers de la plaine côtière togolaise. Bois et Forêts des tropiques 263 (1), pp. 39-51, 2000.
- [28] Lagacherie M. & Cabannes B., Plantations forestières multifonctionnelles à caractère paysager, mellifère ou cynégétique (Mise à jour), 2001.
- [29] Janssens X., Bruneau E. & Lebrun P., Prévision des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique. Apidologie, 37, pp. 351-365, 2006.
- [30] Nombé I., Etude des potentialités mellifères de deux zones du Burkina Faso, Garango (province du Boulgou) et Nazinga (province du Nahouri). Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 186 p., 2003.

La place de l'expérimentation dans l'apprentissage écologique à l'enseignement primaire

[The place of experimentation in ecological learning in primary schools]

Sofia Rachad and Lahcen Oughdir

Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur Sciences Physique, Mathématiques et Informatique - LSI, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Morocco

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Learning cannot be complete without experiential learning, which is also the case for ecological Learning. In primary schools this is conducted through several programs including courses related to the field, textbooks, and teachers' guidance. In order to deduce and prove if this learning brings good results, our approach is based on making direct contact with the teachers and the parents of students of the 5th and 6th grade to learn about the ecological activities applied in their schools and homes. At the end of this experimentation/ study, we have realized that the students are aware of the protection of the environment, however, their daily behaviors sometimes do not reflect that. In spite of this collective awareness of teachers, parents and students, the result is unsatisfactory.

KEYWORDS: ecological awareness, experimental process, experimentation, Scientific process, participatory approach.

RESUME: Un apprentissage en général ne peut être achevé sans travaux pratiques, c'est aussi le cas de l'apprentissage écologique. Au sein des établissements de l'enseignement primaire ce dernier est assuré par le biais de plusieurs programmes y compris le manuel scolaire. Afin de déduire si cet apprentissage apporte de bons résultats, notre démarche était de faire répondre les instituteurs et les parents d'élèves de la 5^{ème} et 6^{ème} année primaire afin qu'ils nous dévoilent toutes activités écologiques appliquées au sein de leurs établissements et de leurs foyers. On a déduit à la fin de cette expérimentation que les élèves sont conscients face à la protection de l'environnement néanmoins leurs comportements au quotidien quelques fois ne le prouvent pas. Malgré cette conscience collective des instituteurs, parents et élèves le résultat reste insatisfaisant.

MOTS-CLEFS: apprentissage écologique, démarche expérimentale, expérimentation, démarche scientifique, méthode participative.

PROBLEMATIQUE

Au cours de l'apprentissage des notions de base de la part des élèves de l'enseignement primaire, plusieurs comportements et habitudes se manifestent et peuvent accompagner ces jeunes individus jusqu'à l'âge adulte, mais quelle place occupe la démarche expérimentale dans la mise en œuvre d'un apprentissage écologique ? Quel impact pourrait avoir le processus expérimental sur ce cet apprentissage ? Quels sont les causes de l'échec de ce type d'apprentissage ? Quels sont les mesures et les solutions proposées pour résoudre cette problématique ?

INTRODUCTION ET CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Vu la place importante de la pratique et l'expérimentation dans l'apprentissage en général, il est nécessaire d'initier les écoliers à découvrir leur environnement à travers des activités et des actions qui peuvent les aider à développer le sens de la protection de l'environnement et par conséquent un savoir être écolo. Vu l'état des établissements primaires surtout dans le milieu rural et le manque

des équipements nécessaires pour accompagner les enfants à développer un savoir-faire nécessaire dans l'âge adulte. On a pu réaliser une recherche afin de pouvoir apporter des solutions.

CONCEPTION ET DEFINITION: L'AE, LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE, L'APPROCHE EXPERIMENTALE, LA METHODE PARTICIPATIVE

L'apprentissage en général consiste à exercer et apprendre une activité donnée sur le terrain, autrement dit il permet à l'individu de pratiquer ses connaissances. L'apprentissage écologique, à son tour permet de faire tout acte relatif à l'écologie ! En effet, ce dernier accorde à l'individu une occasion pour mieux connaître son environnement naturel, la biodiversité qu'il entoure (faune et flore), les ressources naturelles, l'énergie qu'il consomme et toutes les composantes de l'écosystème où il vit. Les discours officiels ne donnent pas une vision bien claire à ce sujet surtout lorsqu'il s'agit de l'école primaire. Nous donnerons suite à ce sujet après une lecture brève des différentes théories récentes dans ce domaine, à savoir:

L'apprentissage écologique, l'approche expérimentale, la démarche scientifique et la méthode participative.

- L'APPRENTISSAGE ECOLOGIQUE

L'apprentissage écologique n'est pas encore défini dans sa globalité, en effet l'apprentissage est perçu comme étant un processus systématiquement orienté vers l'acquisition de certains savoirs, savoir-faire, savoir-être et savoir-devenir. Selon (De Ketele (1989)) quant à Giordan (1989), il a différencié 4 dimensions de l'apprentissage: Cognitive, affective, méta cognitive et sociale; et Grooaters (1994) classifie 4 objets d'apprentissage: les connaissances, les compétences, les habilités et les attitudes. Ecologique, adjectif relatif à l'écologie qui est défini et inventé par Ernst Haeckel (1866) comme étant la science qui étudie les rapports entre les organismes et le milieu où ils vivent.

- LA DEMARCHE EXPERIMENTALE

Est une démarche scientifique parmi d'autres, en effet elle constitue l'une des étapes de cette dernière. D'après Anne-Marie Lavarde, « il n'y a pas de recherche scientifique sans démarche scientifique. Cette démarche est caractérisée par des « grandes méthodes d'investigation » qui sont communes à toutes les sciences. Chaque communauté (s) scientifique (s) les met ainsi en œuvre en tant que méthodes académiques appropriées aux objectifs scientifiques visés. »¹.

Et selon André Giordan, (1999), Professeur à l'université des sciences à Genève: « La démarche expérimentale n'est toutefois pas la seule démarche dite "scientifique". Cette investigation n'est pas toujours faisable; certains objets, comme les étoiles, sont trop lointains et par là inaccessibles. Seules des observations sont possibles, le plus souvent l'emploi d'instruments ou d'enregistrements suppléent les défaillances de notre vue. Dans d'autres cas, les objets d'études peuvent être dangereux ou difficiles à manipuler, il faut se contenter de modèles et de simulations. Parfois l'expérimentation n'est pas souhaitable, elle irait à l'encontre de questions éthiques. Il en est ainsi en matière d'expérimentation humaine. En plus, un certain test expérimental pourrait gravement perturber le phénomène observé. On lui substitue des enquêtes, comme on les réalise en épidémiologie. Observations, mesures, enregistrements de données, modélisations et simulations, enquêtes sont également des démarches scientifiques. L'important est de pouvoir faire émerger des éléments observables ou quantifiables, de les confronter à des hypothèses, de pouvoir maîtriser la démarche pour éventuellement la reproduire et de pouvoir discuter tous résultats. Car rien n'est simple en matière de recherche scientifique. »².

Donc la démarche expérimentale est une démarche pédagogique permettant les instituteurs et les professeurs à enseigner à travers un problème scientifique donné.

Elle permet de mettre à l'épreuve les hypothèses en suivant un raisonnement logique.

Quant à Claude BERNARD, (1865), la méthode expérimentale intitulée 'OHERIC' correspond aux initiales des différentes étapes de la démarche expérimentale: Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation et Conclusion³.

¹ ANNE-MARIE Lavarde, chercheure en psychologie au CNRS, donne une définition de la démarche scientifique dans le *Guide méthodologique de la recherche en psychologie* (2008)

² GIORDAN André, (1999) *Une didactique pour les sciences expérimentales*. 101

³ BERNARD Claude, (1865) *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*

- LA METHODE EXPERIMENTALE EN APPRENTISSAGE ECOLOGIQUE

Il est souhaitable de ne pas confondre la démarche expérimentale à la méthode expérimentale.

Comme l'a déjà résumé Claude Bernard, (1865), les quatre étapes de la méthode expérimentale en médecine: "Le savant complet est celui qui embrasse à la fois la théorie et la pratique expérimentale: premièrement, il constate un fait; deuxièmement, à propos de ce fait, une idée naît dans son esprit; troisièmement, en vue de cette idée, il raisonne, institue une expérience, en imagine et en réalise les conditions matérielles; quatrièmement, de cette expérience résultent de nouveaux phénomènes qu'il faut observer et ainsi de suite. L'esprit du savant se trouve en quelque sorte toujours placé entre deux observations: l'une qui sert de point de départ au raisonnement, et l'autre qui lui sert de conclusion"⁴.

En effet, la démarche et la méthode expérimentale sont liés l'une à l'autre: « La méthode renvoie à un itinéraire balisé par des étapes prévisibles dans un parcours intellectuel. Il y eut un 'discours de la méthode'. la démarche, qui fait partie du langage commun renvoie à un cheminement, ainsi pourrait-on parler de méthode expérimentale au plan pédagogique lorsque l'itinéraire que les élèves auront à emprunter est largement prédéterminé ? une démarche expérimentale à l'inverse rendrait compte d'une conduite de la pensée plus vagabonde, et donc moins contrainte par des indications d'actions de la part de l'enseignant »⁵.

En effet, une méthode expérimentale se base sur plusieurs règles, notamment:

- La raison ou le rationalisme constituent l'élément majeur des théories scientifiques. Afin d'inventer un lien de cause à effet des différents phénomènes observables dans la nature, il ne suffit pas d'un mystère ou d'une vertu. La méthode scientifique permet de trouver des réponses simples en décomposant la problématique en une série de petites questions.
- La méthode scientifique rend douteux tout ce qui n'est pas observé ni prouvé de manière correcte. En cas d'une théorie qui empêche l'interprétation d'un fait il faut la remettre en cause; ainsi que toute expérience mal décrite ou expliquée par peu de personnes.
- La méthode doit faire face à un modèle à une idée à une théorie ou encore à un fait expérimental. Elle sert à confronter la pratique et la théorie: va-t-on réaliser ce que nous avons prévu ? la théorie contient-elle une faille ou une erreur ?
- L'interprétation des faits est nécessaire afin de trouver une théorie adéquate et convenable.
- La méthode scientifique peut également ne pas apporter les résultats souhaités, dans ce cas on considère l'échec de l'expérience, dans ce cas les scientifiques cherchent le pourquoi. Une fois que les explications sont trouvées, l'amélioration de la théorie s'installe.

Maintenant, il faut mettre le point sur l'étape principale de la démarche expérimentale, qui est l'expérimentation, comment peut-on la définir ? Et comment peut-on la réaliser en classe ?

- L'EXPERIMENTATION

En effet, on ne peut dire que la théorie est scientifique sauf si elle repose sur l'expérience. C'est un moyen déterminant du savoir actuel, c'est l'idée selon laquelle repose la science sur des faits après les observations. A ce stade nous allons préciser la différence entre l'expérience et l'expérimentation ainsi que l'expérimentation dans l'apprentissage écologique.

D'après Aster, (1989) l'expérimentation est définie comme suite: « L'expérimentation ne constitue qu'une étape au cours de la méthode ou de la démarche expérimentale. Celle au cours de laquelle va être mise en train une expérience, elle constitue le processus qui conduit à partir de l'émission de l'hypothèse à la réalisation d'une expérience et à l'analyse de ses résultats. »⁶

Donc, l'expérimentation permet aux écoliers de s'impliquer dans une activité précise et mettre en œuvre une théorie pour valider une hypothèse donnée quantitativement et qualitativement. Elle est mise en place à travers un ou plusieurs chercheurs par des méthodes expérimentales.

Une expérimentation a pour but de résoudre un problème ou une question de nature géologique ou biologique, et tester la validité d'une hypothèse explicative.

⁴ BERNARD Claude, *Introduction à la médecine expérimentale*, 1865

⁵ ASTER Nc8. 1989. *Expérimenter, modéliser*, INRP, 29 ; rue d'Ulm. 75230, Paris Cedex 05.

⁶ ASTER Nc8. 1989. *Expérimenter, modéliser*, INRP, 29, rue d'Ulm. 75230, Paris Cedex 05.

Pour réaliser ceci, on doit suivre une procédure ou l'ensemble de procédures qui constitue le protocole expérimental pour la réalisation de l'expérimentation. Le protocole contient:

A. Définir l'objectif de l'expérimentation: sélectionner une ou plusieurs relation (s) qui impacte (nt) un ou plusieurs facteur (s) et les effets sur un ou plusieurs paramètre (s) d'un phénomène déterminé (géologique ou biologique).

B. Déterminer le principe de l'expérimentation: consiste à tester les relations entre différents facteurs d'un environnement maîtrisable afin d'en déduire les effets sur les caractéristiques observables d'un phénomène.

C. Le principe de l'expérience et d'en déduire l'effet d'un paramètre observé d'un phénomène étudié en provoquant une variation sur l'un ou tous les facteurs.

Pour chaque procédure, un matériel spécifique est utilisé, les échantres à respecter et l'importance du facteur maîtrisé.

- L'EXPERIENCE

Depuis des décennies, l'expérience détient une place importante au sein du développement du savoir scientifique. L'enseignement des sciences s'est orienté explicitement vers l'utilisation des méthodes expérimentales au sein des classes.

Dans ce qui suit, nous allons présenter quelques définitions de l'expérience et l'expérience scientifique:

Selon Rogers BAJA (1969): « Les "expériences pour voir" ne sont-elles pas les seules qui, spontanément, se mettraient en place dans nos classes si on y laissait un peu d'autonomie. Toute autre expérience, entrant dans le jeu de la "redécouverte" n'a plus de valeur heuristique; isolée de son contexte et de sa problématique, elle risque de n'être plus qu'une commémoration dérisoire.⁷

Rogers BAJA classe les expériences en sept types:

- 1) Expériences ayant pour but la vérification d'une hypothèse;
- 2) Expériences provoquées par une observation;
- 3) Expériences ayant pour but de répondre à une question;
- 4) Expériences ayant pour but l'étude d'une exception et des problèmes qu'elle pose;
- 5) Expériences ayant pour but la critique d'une théorie;
- 6) L'expérience pour la vérification d'une induction anatomique;
- 7) Expérience "Pour voir".

Après l'explication de l'expérimentation et l'expérience, on passe maintenant à démontrer l'intérêt didactique de cette dernière.

- INTERET DIDACTIQUE DE L'EXPERIMENTATION DANS L'APPRENTISSAGE ECOLOGIQUE

Puisque l'apprentissage écologique est une discipline vivante, les élèves doivent expérimenter et manipuler, autrement dit concrétiser le savoir en le touchant pour qu'ils acquièrent correctement. Il est donc clair que la pratique expérimentale ne se sépare pas de l'enseignement scientifique. En effet ces pratiques développent chez l'élève la capacité de raisonnement logique et contribuent aussi à leur apprentissage. C'est en fait, développer l'esprit scientifique chez ces jeunes individus.

Il est nécessaire de rappeler l'intérêt de l'expérimentation:

1. Aide les élèves à concrétiser une théorie scientifique donnée;
2. Se familiariser avec différents matériels et acquérir de nouvelles compétences;
3. Développer le sens de créativité chez les élèves et les aider à manipuler et traiter un matériel nouveau;
4. On souligne l'importance de mettre en place les mesures de sécurité au cours des différentes expériences au sein des établissements.

⁷ BAJA Roger. *La méthode biologique*. Paris. Masson. 1969.90-120

METHODES ET OUTILS DE LA RECHERCHE

Pour cerner la problématique, on a élaboré un questionnaire visant à la vérification des hypothèses suivantes:

- Les avis des instituteurs sur l'importance de l'expérimentation en apprentissage écologique;
- Les avis des instituteurs sur l'intérêt didactique de l'expérimentation en apprentissage écologique;
- Les avis des instituteurs sur la place modeste de l'expérimentation au sein des programmes scolaires;
- Les principales causes de cette place modeste;
- Les recommandations et solutions proposées pour améliorer le manque de l'expérimentation.

Ce questionnaire est adressé à des instituteurs du primaire, dans les deux milieux scolaires ruraux et urbains.

METHODE D'ANALYSE DE DONNEES

Dans un premier temps, on a posé quatre questions fermées pour relever les avis des instituteurs sur l'importance de l'expérimentation en apprentissage écologique.

La seconde partie est représentée par une question ouverte sur l'intérêt didactique de l'expérimentation en apprentissage écologique.

Pour la troisième partie, une question fermée pour démontrer la place modeste de l'expérimentation en apprentissage écologique

La quatrième, concerne les causes de la place modeste de l'expérimentation en apprentissage écologique

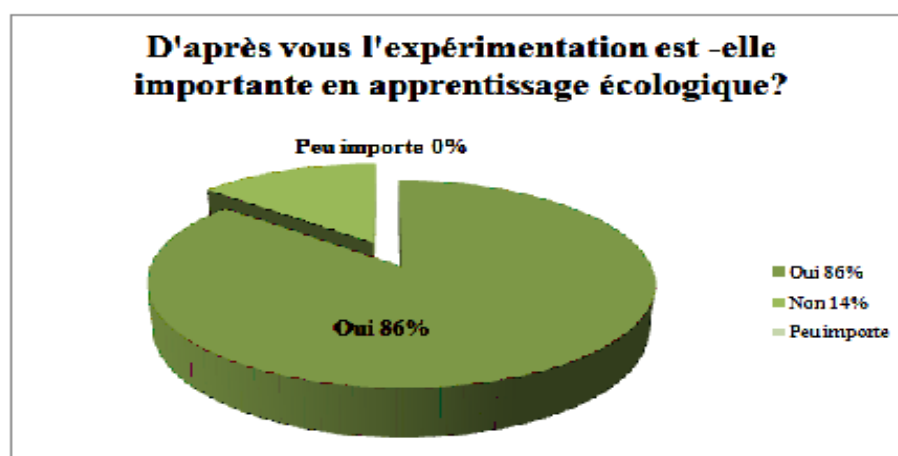
Et la cinquième et dernière partie est représentée par une question à choix multiples pour ressortir les solutions possibles pour remplacer l'expérimentation.

Commençons la présentation, la discussion et l'interprétation des résultats obtenus.

LES RESULTATS OBTENUS

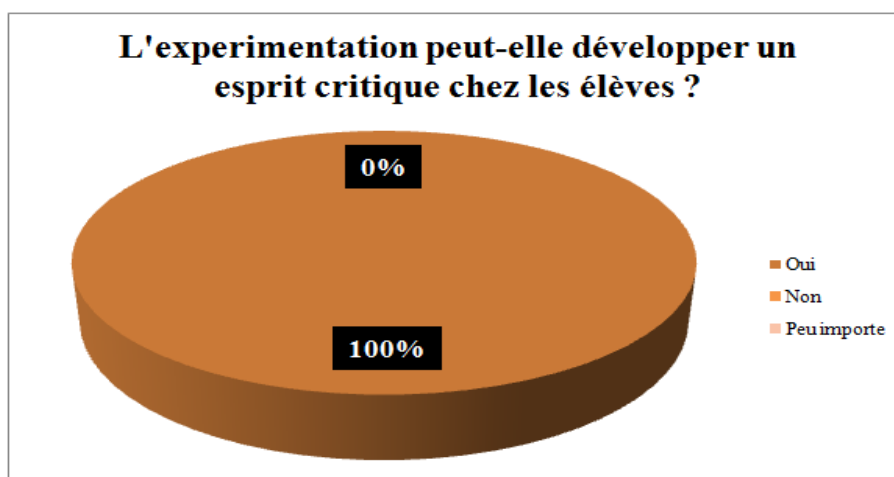
L'IMPORTANCE DE L'EXPERIMENTATION EN APPRENTISSAGE ECOLOGIQUE

Au cours de cette partie on a posé quatre questions fermées aux instituteurs de l'enseignement primaire, dont on a obtenu les résultats suivants:



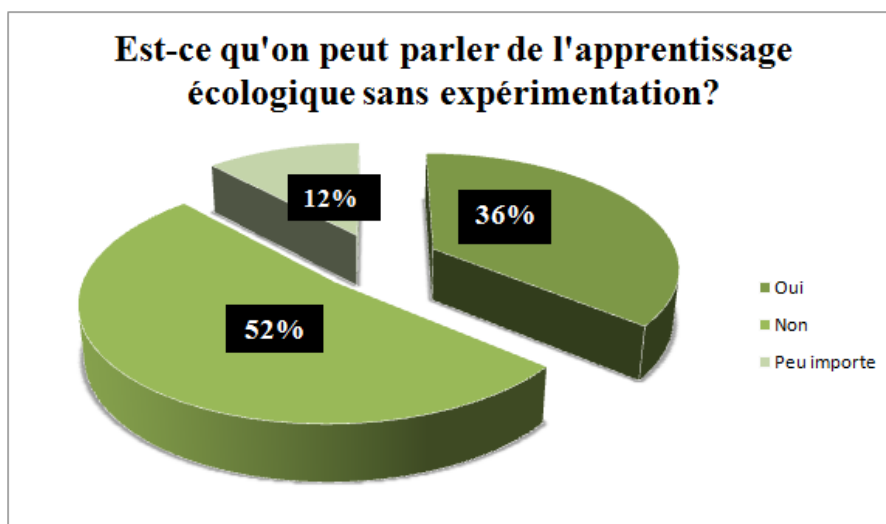
Graph 1. L'importance de l'expérimentation en apprentissage écologique au niveau de l'enseignement primaire

D'après les résultats obtenus, on peut dire que l'expérimentation est d'une grande importance pour les instituteurs, avec un taux élevé qui est de 86%, donc ils ont la conscience que l'expérimentation est importante dans cette discipline.



Graphie 2. Le développement de l'esprit critique chez les élèves de l'enseignement primaire à travers l'expérimentation

On a obtenu 100% de réponses « Oui » donc les instituteurs et les parents d'élèves confirment à leurs tours que l'expérimentation est nécessaire pour le développement de l'esprit critique chez les élèves.



Graphie 3. La place qu'occupe l'expérimentation au sein de l'enseignement primaire

Pour cette question les réponses étaient comme suit: 36% des instituteurs et parents d'élèves ont dit « oui » et 52% ont dit « Non » et 12% ont dit « peu importe ». Vu le taux important des réponses « Non » on peut dire que l'expérimentation est essentielle pour parler de l'apprentissage écologique.

L'EXPERIMENTATION A-T-ELLE UN INTERET DIDACTIQUE EN APPRENTISSAGE ECOLOGIQUE ?

C'est la question posée durant le questionnaire qu'on a établi. Les résultats que nous avons obtenus sont les suivant:

Seulement 70% des instituteurs qui ont répondu à cette question, et 30% n'ont pas répondu ! On est devant 70% des instituteurs conscients de l'importance didactique de l'expérimentation et 30% inconscients de l'intérêt didactique de l'expérimentation, ça peut être dû à une absence de formation en la matière. On vous présente quelques réponses que nous avons obtenu:

« L'expérimentation permet d'exercer une activité donnée par l'élève, cela lui permet de retenir les informations par la pratique c'est facile pour eux »

« L'expérimentation est l'une des choses essentielles pour faire assimiler un savoir »

« L'expérimentation permet aux élèves de développer un esprit d'analyse et un esprit critique »

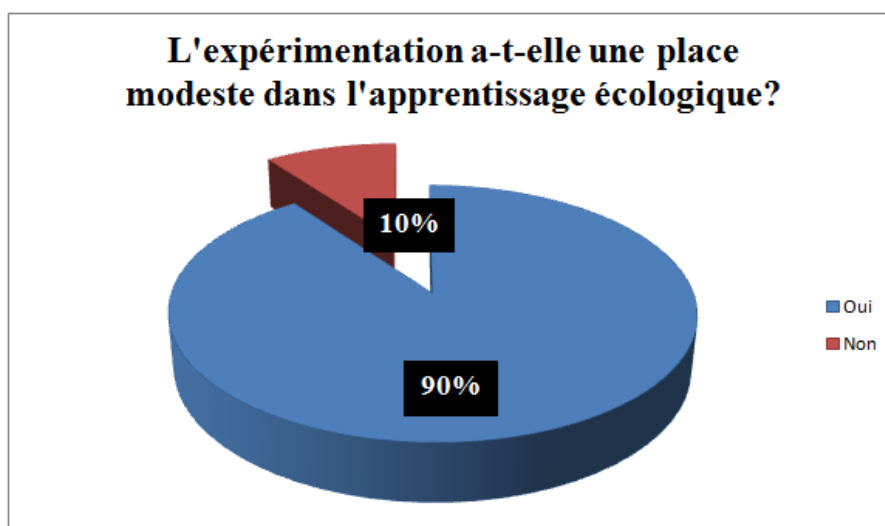
« Les sorties de terrains et l'expérimentation sont essentielles pour l'élève, ils permettent la découverte et l'adaptation de ces jeunes »

« L'expérimentation joue un rôle important dans le savoir-faire de l'élève et par conséquent sur son savoir être par la suite »

« L'expérimentation rend concret tout ce qui est dans l'imagination de l'élève »

Selon les réponses obtenues, on déduit que l'expérimentation est la concrétisation du savoir en faisant des travaux pratiques et des sorties de terrains ainsi que des manipulations au sein des établissements scolaires.

Dans cette partie on a utilisé une question fermée: « l'expérimentation a-t-elle une place modeste dans l'apprentissage écologique ? »



Graphique 4. La place modeste de l'expérimentation en apprentissage écologique dans l'enseignement primaire

D'après les résultats obtenus, 90% qui disent oui la place de l'expérimentation est vraiment modeste et les 10% qui disent que ce n'est pas le cas, on peut conclure qu'effectivement la place de l'expérimentation demeure insuffisante en apprentissage écologique au niveau primaire.

LES PRINCIPALES CAUSES DE LA PLACE MODESTE DE L'EXPERIMENTATION EN APPRENTISSAGE ECOLOGIQUE

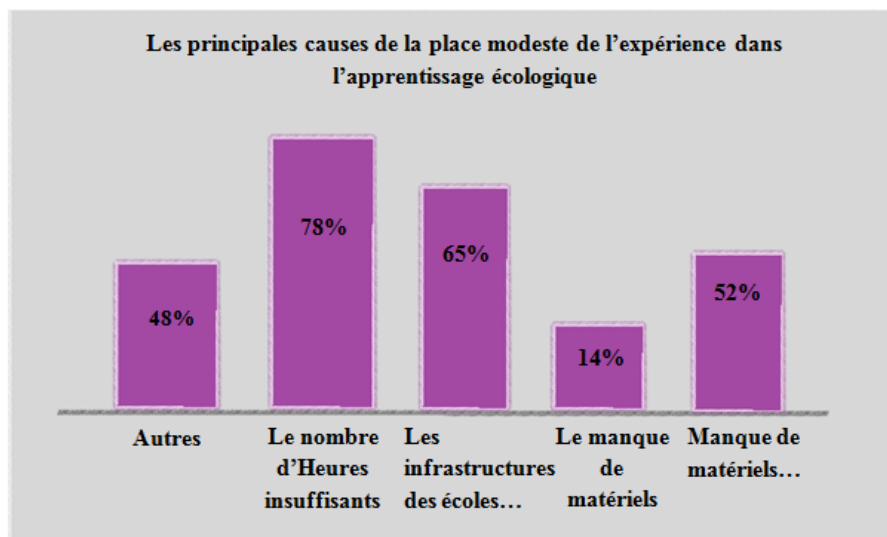
Dans cette 4^{ème} partie nous avons opté pour une question à choix multiple:

La question: Quelles sont les principales causes de la place modeste de l'expérimentation en apprentissage écologique ?

Les choix de réponses:

- Les infrastructures des écoles ne permettent pas de faire des expériences ?
- La façon avec laquelle les programmes scolaires est conçue ?
- Le nombre d'heures insuffisants ?
- Le manque de matériel et de normes de sécurité ?

On a obtenu les résultats ci-dessous:



Graph 5. Les principales causes de l'expérience dans l'apprentissage écologique

On peut déduire que d'après les résultats obtenus, on a trois principales causes de la réduction de la place de l'expérience dans l'apprentissage écologique, qui sont:

- La première cause est le nombre d'heures insuffisants des programmes scolaires (78%)
- La deuxième cause: c'est les infrastructures des écoles qui ne correspondent pas à établir des expériences (65%)
- La troisième cause est le manque de matériels et l'élaboration des normes de sécurité dans les établissements (52%)

Afin de résoudre ce problème, et pour limiter cette réduction de la place de l'expérience dans l'apprentissage écologique nous proposons des solutions qu'on va détailler dans le paragraphe suivant.

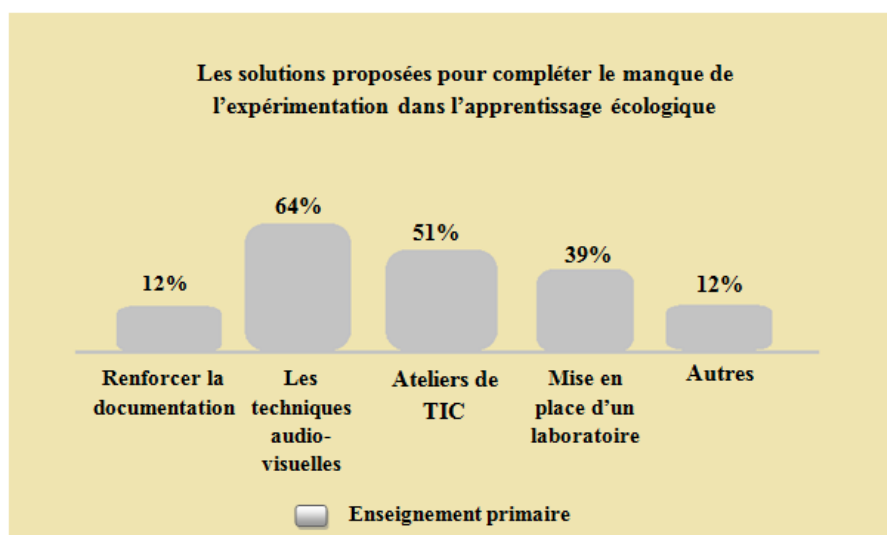
SOLUTIONS SUGGERES

Dans cette dernière partie, nous avons élaboré une question à choix multiples une seconde fois afin de faire participer les instituteurs et les parents d'élèves à trouver des solutions selon une approche participative permettant tous les acteurs de proposer des réponses et contribuer à l'amélioration de cette situation.

La question proposée: « à votre avis quelles sont les outils proposés pour compléter la place modeste de l'expérimentation dans l'apprentissage écologique ? »

On a proposé cinq réponses:

1. Renforcer la documentation
2. Introduire les techniques audiovisuelles dans le processus de l'enseignement
3. Etablir des ateliers en technique de communication
4. Mettre en place un laboratoire respectant l'âge des écoliers
5. Autres



Graph 6. Les solutions proposées pour compléter le manque de l'expérimentation dans l'apprentissage écologique

A partir des résultats obtenus on trouve que les instituteurs et les parents d'élèves ont proposé avec un pourcentage de 64% d'introduire les techniques audio-visuelles dans les techniques de l'enseignement primaire, probablement parce c'est plus pratique de voir les images, sons et vidéos et que l'enfant peut assimiler différentes informations regardées ou entendues.

En second lieu, faire des ateliers de TIC avec un pourcentage de 51%, vu l'importance de la technologie dans la science actuellement, il est indispensable de ne pas l'introduire dans le programme scolaire. Aujourd'hui le monde avance grâce à l'Homme et aussi aux nouvelles technologies dans tous les domaines de la science.

Troisièmement La mise en place d'un laboratoire représenté par 39% qui respectent l'âge de ces enfants et contient tous les outils de sécurité pour les protéger de toute fausse manipulation. Aussi grâce aux différentes expériences au sein du laboratoire, permettent aux élèves de se familiariser avec les techniques et le matériel du laboratoire ainsi qu'à développer l'esprit d'analyse et de critique dès un âge jeune.

Pour le renforcement de la documentation, seulement 12% qui l'ont choisi, d'autres ont considéré que la documentation elle est déjà là et assez chargée pour les élèves, et nous ne devons pas en ajouter plus.

DISCUSSIONS

Selon les résultats obtenus pour vérifier les hypothèses posées:

Pour la première hypothèse: Quelle place occupe la démarche expérimentale dans la mise en œuvre d'un apprentissage écologique ? On peut la valider, vu qu'on a obtenu un pourcentage qui dépasse les 90%.

La deuxième hypothèse: Est ce que les instituteurs et parents d'élèves sont inconscients face à l'importance que représente l'expérimentation dans l'apprentissage écologique ? Cette hypothèse est invalide, vu que d'après les réponses qu'on a eu, les instituteurs et parents d'élèves sont conscients de l'importance de l'expérimentation.

La troisième hypothèse est de prélever les principales causes de la place modeste de l'expérimentation dans l'apprentissage écologique:

- Le temps nécessaire dédié à l'apprentissage écologique est insuffisant vu qu'il figure dans une matière appelé « activité scientifique » qui à son tour n'a pas suffisamment d'heures par semaine par rapport aux autres matières (3h/semaine) (78% pour cet outil)
- La mise en place des laboratoires dédiés aux enfants, avec des matériaux en plastique et des matières biologiques et non pas chimiques pour qu'ils ne représentent pas un danger sur la santé des écoliers.

La quatrième hypothèse: les différentes propositions pour compléter le manque de l'expérimentation en apprentissage écologique

- Introduire des ateliers de TIC: les instituteurs et parents d'élèves l'ont choisi en deuxième lieu avec un pourcentage de 51%.
- Introduire les techniques audio-visuelles: est la proposition qui a eu un 100% de la part des parents et celle des instituteurs vu l'efficacité de cette dernière. Comme nous avons précisé auparavant, elle permet de mieux assimiler les informations.
- Renforcer la documentation: c'est la 4ème proposition avec un pourcentage de 12%.

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus à partir du questionnaire établie et vu l'importance de l'expérimentation en apprentissage écologique au niveau de l'enseignement primaire, nous constatons que l'expérimentation n'a qu'une place modeste dans l'enseignement primaire pour deux raisons majeures, notamment:

1. Les infrastructures des écoles surtout au niveau rural ne permettent pas la mise en place des différentes techniques (Audio-visuels, TIC...)
2. Les instituteurs ne sont pas outillés et formés pour assurer ce type d'enseignement et par conséquent ça les démotive.

Même s'ils savent l'importance de l'expérimentation, et sont conscients que ça permet à l'élève de développer son esprit d'analyse et d'observation.

REFERENCES

- [1] Giordan, J.L. Martinand et C. Souchon (éd), Les aides didactiques, Actes JIES 11, A. Giordan, J.L. Martinand et C. Souchon, 1989.
- [2] De Ketele, J.M et al..1989. Guide du formateur, pédagogie en développement. De Boeck: Université.
- [3] Haeckel E. (1866). *Générale Morphologie der Organismen*. Reimer, Berlin, Vol. 1.
- [4] Lavarde, A.M. (2008). *Guide méthodologique de la recherche en psychologie*. Bruxelles.
- [5] Tilman F., Grootaers D. (1994), *Les chemins de la pédagogie – Guide des idées sur l'éducation et l'apprentissage*, Chronique sociale, Vie Ouvrière, Bruxelles.
- [6] *Guide Sciences de la Vie et de la Terre en lycée* (2002) République française; Pages: 11-15.
- [7] <http://sergecar.perso.neuf.fr/cours/theorie1.htm>.

Plantes hôtes de *Goimbrasia Hecate* (Lepidoptera, Saturniidae) dans la zone sahélienne au Mali

[Host plants of *Goimbrasia Hecate* (Lepidoptera, Saturniidae) in the sahelian zone in Mali]

Bakary Sagara¹, Bakary Traore¹, Fanta Tounkara¹, Abou Coulibaly¹, and Amoro Coulibaly²

¹Département des Sciences et Techniques agricoles, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR, IFRA), Koulikoro, Mali

²Professeur Honoraire, Koulikoro, Mali

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The rational management of natural biological resources such as non-timber forest products can be an asset in the fight against poverty and the protection of the environment. *Goimbrasia hecate* is a Lepidoptera whose caterpillars are edible in some Sahelian areas of Mali. The objectives of the study are: 1) to identify the host plants of *G. hecate*; 2) to determine the food preference of the caterpillars; 3) to identify the host plants chosen as oviposition site. The inventory of woody plants was carried out in demarcated areas. Then the different stages of development of *G. hecate* or the traces left by the insect were searched for the leaves and around the feet of woody plants. Of the 12 species of woody plants encountered, the most widespread is *Guiera senegalensis*. The range of host plants consists of *G. senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Terminalia macroptera*, *Piliostigma reticulatum*, *Sclerocarya birrea*, *Diospiros mespiliformis* and *Mytragyna inermis*. *G. hecate* is therefore polyphagous but prefers the most widespread species in the area. Females chose *G. senegalensis*, *C. glutinosum* and *P. reticulatum* as oviposition sites. The average number of eggs per oöplaque is highest on *C. glutinosum* leaves. Stage 4 and 5 caterpillars prefer *G. senegalensis* and *P. reticulatum*. These data are necessary for the sustainable management of the insect.

KEYWORDS: Beneficial insects, edible insects, entomophagia, butterfly laying site, food preference of caterpillars, *Guiera senegalensis*.

RESUME: La gestion rationnelle des ressources biologiques naturelles comme les produits forestiers non ligneux peut être un atout dans la lutte contre la pauvreté et la protection de l'environnement. *Goimbrasia hecate* est un Lepidoptera dont les chenilles sont comestibles dans certaines zones sahéliennes du Mali. Les objectifs de l'étude sont: 1) identifier les plantes hôtes de *G. hecate*; 2) déterminer la préférence alimentaire des chenilles; 3) identifier les plantes hôtes choisies comme site d'oviposition. L'inventaire des ligneux a été effectué dans des aires délimitées. Puis les différents stades de développement de *G. hecate* ou les traces laissées par l'insecte ont été recherchés sur les feuilles et aux alentours des pieds de ligneux. Sur 12 espèces de ligneux rencontrées, la plus répandue est *Guiera senegalensis*. La gamme de plantes hôtes est constituée de *G. senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Terminalia macroptera*, *Piliostigma reticulatum*, *Sclerocarya birrea*, *Diospiros mespiliformis* et *Mytragyna inermis*. *G. hecate* est donc polyphage mais préfère l'espèce la plus répandue dans la zone. Les femelles ont choisi comme site d'oviposition *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum*. Le nombre moyen d'œufs par oöplaque est plus élevé sur les feuilles de *C. glutinosum*. Les chenilles de stade 4 et 5 préfèrent *G. senegalensis* et *P. reticulatum*. Ces données sont nécessaires pour une gestion durable de l'insecte.

MOTS-CLEFS: Insectes utiles, insectes comestibles, entomophagie, site de ponte des papillons, préférence alimentaire des chenilles, *Guiera senegalensis*.

1 INTRODUCTION

Au Mali, la gestion rationnelle des ressources biologiques naturelles comme les produits forestiers non ligneux (insectes comestibles) peut être un atout dans la lutte contre la pauvreté et la protection de l'environnement. Ces dernières années, la reconnaissance du rôle des produits forestiers non ligneux (PFNL) comestibles dans la sécurité alimentaire, comme la viande de brousse, les fruits et champignons locaux a considérablement augmenté [1]. Malgré tout, les potentialités alimentaires des insectes comestibles sont mal connues bien que plusieurs études aient montré que les insectes contribuent de manière importante aux moyens d'existence des régions rurales comme urbaines [2]. Dans de nombreuses cultures, les insectes sont consommés comme un supplément d'aliment quotidien, un met délicat occasionnel ou un produit de substitution durant les pénuries alimentaires, les sécheresses, les inondations, les guerres, etc.

Plusieurs centaines d'espèces d'insectes sont utilisées dans l'alimentation humaine et dans l'alimentation animale, à travers le monde [3], [4], [5], [6], [7]. En plus, certaines constituent une source importante de devises comme c'est le cas dans plusieurs pays d'Afrique centro-australe [8], [1], [2]. En Afrique Occidentale et dans la bande périssaharienne 25 espèces d'insectes sont consommées [3], [9]. Les insectes comestibles doivent être considérés comme une alternative potentielle plus importante dans les efforts d'améliorer la sécurité alimentaire et d'alléger la pauvreté en Afrique subsaharienne [4].

En plus, l'entomophagie conduit à une meilleure utilisation des végétaux car les insectes comestibles vivent souvent sur des plantes ou des parties de plantes sans ou à faible valeur nutritive pour l'homme et sans nuire à leur hôte [5]. Dans certaines zones, les feux de brousse sont contrôlés par les populations pour éviter de nuire aux insectes comestibles, ce qui favorise indirectement la protection du milieu naturel [8]. Cependant, l'abattage des arbustes infestés pendant la récolte est de nature à perturber l'environnement. Les méthodes d'exploitation sont donc traditionnelles. Pour prétendre à une amélioration de l'utilisation de ces insectes et d'arriver un jour à maîtriser la production, il est indispensable de disposer de données détaillées et actualisées.

Les plantes et les insectes sont étroitement liés depuis le Primaire. Certaines espèces d'insectes surtout les lépidoptères sont associés généralement avec une ou quelques espèces de plantes. Ces insectes pondent leurs œufs sur ces plantes seulement et les chenilles se nourrissent souvent uniquement des feuilles de ces plantes. Donc, le choix de la plante-hôte pour oviposition est capital pour la survie des espèces qui ont des stades larvaires jeunes peu mobiles [10]. La femelle répond à des stimulus physiques et chimiques pendant le choix de la plante support de ponte dans son habitat [11]. Ainsi, l'oviposition est fonction de séquences comportementales liées à la présence d'une ou de plusieurs espèces de plantes hôtes. Ces séquences comportementales sont regroupées en trois étapes principales: 1) la découverte à distance de la plante-hôte, 2) l'identification rapprochée de la plante hôte, 3) l'oviposition. Pour cela, quatre fonctions sensorielles (vue, toucher, olfaction, gustation) interviennent dans la ponte de l'approche jusqu'à l'émission des œufs [12].

Dans la zone sahélienne, l'adulte de *Goimbrasia hecate* émerge en mi-juillet et les chenilles sont présentes sur les plantes hôtes de mi juillet à la fin septembre. Les chenilles se nourrissent spécifiquement des feuilles de certains ligneux [13]. Ces chenilles sont consommées par l'homme surtout dans la zone de Diéma et des vertus thérapeutiques leur sont également attribuées en fonction des plantes hôtes [14].

Ainsi, cette étude a pour objectifs d'identifier les plantes hôtes et de déterminer les préférences alimentaires des chenilles dans la zone sahélienne du Mali. Ces informations sont nécessaires à la mise au point des technologies appropriées. Le changement des habitudes alimentaires et la destruction de l'habitat naturel suite à l'augmentation des surfaces cultivées sont entre autres des fléaux qui menacent l'entomophagie au Mali. Pour la valorisation de ces chenilles de *G. hecate*, une bonne connaissance des plantes hôtes qui sont des ligneux est indispensable pour une gestion durable. La consommation de ces chenilles et la préservation de ces plantes hôtes peuvent être un apport considérable pour l'amélioration de l'état nutritionnel et les conditions de vie des populations maliennes dont plus de 72% appartient au monde rural [15].

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique est *Goimbrasia hecate* de la famille des Saturniidae et de l'ordre des Lepidoptera. Sa chenille est comestible dans le cercle de Diéma et connue sous le nom «Batankè» en Bamanakan et le «papillon» qui en dérive est appelé «Batankè Ba» qui signifie mère de la chenille. Dans la zone d'étude, *Goimbrasia hecate* est univoltine avec un cycle de vie suivant: chrysalide (durée moyenne de la diapause est de $308,88 \pm 7,68$ jours), imago (durée moyenne de la vie de l'adulte est de $3,74 \pm 0,89$ jours), ooplaque (durée moyenne d'incubation des œufs est de $12,22 \pm 1,10$ jours) et stades larvaires (durée moyenne est de $34,32 \pm 2,29$ jours) [13].

2.2 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été effectuée dans le terroir du village de Débo Massassi qui est situé à 22 km à l'ouest de Diéma et à 2 km de la route (nationale 1) Bamako- Kayes. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes: N 14°34.788' et W 009°22.199'. Le climat, sahélien, est caractérisé par une saison sèche de 9 mois (de octobre à juin) alternant avec une saison de pluies de 3 mois (de juillet à septembre). La pluviométrie annuelle moyenne est de 570,7mm (minimum 356,0mm et maximum 781,6 mm) [16].

La végétation est de type herbacé avec des ligneux comme *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptica*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *C. micranthum*, *Terminalia macroptera* *Piliostigma reticulatum*, *Sclerocarya birrea*, *Diospyros mespiliformis* et *Ziziphus mauritiana*. Le sol du sous-secteur de Diéma est de type sablonneux au Nord, sablo-argileux au centre et limoneux-argileux au Sud. Le système de production est une agriculture de subsistance, pluviale, itinérante à base de mil/sorgho et d'arachide et un élevage extensif [17].

2.3 INVENTAIRE DE LA VÉGÉTATION LIGNEUSE

Pour estimer la densité des ligneux, la méthode du *line transect* [18] a été retenue. Elle consiste à compter les plantes hôtes dans une bande de largeur déterminée. Au regard de l'hétérogénéité physique du terrain (bas-fond, rivière) et anthropique, l'aire d'échantillonnage a été 5 bandes non contiguës, de dimensions variables dans des zones non cultivées (Tableau 1).

Tableau 1. Position géographique et dimensions des bandes pour les échantillonnages et observations à Débo Massassi

Bande	Coordonnées géographiques		Dimensions (m ou m ²)		
	Latitude (N)	Longitude (W)	Longueur	Largeur	Superficie
1	14° 34. 333	009° 22. 403	97	30	2910
2	14° 33. 558	009° 22. 191	154	30	4620
3	14° 33. 730	009° 22. 133	102	56	5712
4	14° 33. 895	009°22. 125	102	17	1734
5	14° 33. 784	009° 22. 789	69	52	3588
Total			524	185	18564

Les ligneux ont été identifiés [19] et leurs pieds dénombrés. Chaque buisson de ligneux (*Guiera senegalensis*) a été considéré comme un seul pied [20].

Les données collectées sur les ligneux ont été analysées par ANOVA pour déterminer les fréquences et les moyennes des ligneux. Le test de Fisher (LSD) a permis de classer les ligneux et d'établir s'il existe une différence significative entre les différents ligneux.

2.4 GRANULOMÉTRIE ET PH DU SOL

Les échantillons de sol ont été prélevés dans les bandes utilisées pour l'inventaire des ligneux. En chaque points, il y eu deux échantillons de sol en fonction de la profondeur de prélèvement: 0 à 10 cm et 11 à 20 cm de profondeur. Les échantillons ont été analysés afin de déterminer les propriétés physico chimiques du sol dans lequel s'effectue la nymphe.

2.5 IDENTIFICATION DE LA GAMME DE PLANTES HÔTES

L'étude a été menée pendant la saison des pluies (juillet) qui correspond à l'apparition des adultes et de jeunes larves. L'échantillonnage a été effectué dans les 5 bandes. La méthode du *line transect* [18] a été retenue pour déterminer les plantes hôtes. Chaque buisson de ligneux a été considéré comme un seul pied.

Toutes les feuilles sur les deux faces jusqu'à 2m de hauteur de tous les pieds de ligneux dans les bandes ont été examinées. De même, le sol sous leur houppier a été examiné à la recherche de déjections de chenilles. En cas de présence d'ooplaques, de chenilles, de traces d'attaques ou de déjections de chenilles les rameaux de feuilles ont été coupés, le ligneux en question était identifié, grâce aux documents [19] et avec l'aide de personnes ressources.

2.6 DÉTERMINATION DES PLANTES HÔTES PRÉFÉRÉES

Pour déterminer les préférences des chenilles, un lot de 30 chenilles sauvages de stade 4 et 5 ont été constituées de la manière suivante: 10 ont été récoltées sur chacune des 3 espèces de ligneux les plus répandues (*Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum* et *Combretum glutinosum*), les pieds de ligneux sur lesquels elles ont été prélevées étaient éloignés les uns des autres d'au moins 50m.

Ce lot de chenilles a été placé dans une cage tapissée de 15cm de sable fin et contenant trois rameaux de même poids appartenant aux 3 espèces de ligneux. Tous les jours les rameaux étaient renouvelés entre 8h et 9h du matin et les chenilles étaient dénombrées par rameau entre 17h et 18h le soir. Les observations ont été poursuivies jusqu'à la nymphose de toutes les chenilles.

Pour le traitement des données, l'effectif des chenilles au sol ou sur la grille de la cage a été exclu, ainsi que les chenilles mortes ou en diapause pendant l'observation. La moyenne et l'écart-type de la préférence alimentaire ont été déterminées par l'outil d'ANOVA. La variation préférentielle au niveau des stades larvaires 4 et 5 a été comparée par les tests de Tukey (HSD) et de Fisher (LSD).

2.7 IDENTIFICATION DES PLANTES RECEVANT LES PONTES

Le recensement des ligneux portants les ooplaques de *G. hecate* a été effectué dans les mêmes bandes. Pendant ce recensement, tous les pieds rencontrés portant des ooplaques ont été identifiés, dénombrés et la taille mesurée. La position de l'ooplaque [21] sur la plante par rapport au sol (hauteur d'insertion) et sa position par rapport aux points cardinaux ont été notées.

L'outil d'ANOVA a été utilisé pour déterminer les moyennes du nombre d'œufs par ooplaque. Le nombre moyen d'œufs et les hauteurs d'insertion des ooplaques ont été comparées par les tests de Tukey (HSD) et de Fisher (LSD). Le test de corrélation de Spearman a été utilisé pour évaluer la relation entre le point d'insertion de l'ooplaque et la taille de la plante hôte d'une part et d'autre part entre la densité des plantes hôtes et les nombres d'ooplaques.

3 RÉSULTATS

3.1 VÉGÉTATION LIGNEUSE DU TERROIR

La végétation est de type herbacé avec des ligneux. Pendant l'inventaire, 12 espèces de plantes ligneuses appartenant à 9 familles sont dénombrées. Les Combretaceae sont représentées par 4 espèces (Tableau 2).

Tableau 2. Liste des ligneux recensés pendant l'inventaire

Famille	Espèce
Combretaceae	<i>Guiera senegalensis</i>
	<i>Combretum glutinosum</i>
	<i>Combretum micranthum</i>
	<i>Terminalia macroptera</i>
Caesalpiniaceae	<i>Piliostigma reticulatum</i>
Sterculiaceae	<i>Sterculia setigera</i>
Rhamanaceae	<i>Zizuphus mauritiana</i>
Minosaceae	<i>Prosopis africana</i>
Moraceae	<i>Ficus gnaphalocarpa</i>
Ebenaceae	<i>Diospyros mespilliformis</i>
Rubiaceae	<i>Mitragyna inermis</i>
Anacardiaceae	<i>Sclerocarya birrea</i>

La densité est en moyenne de 367,78 pieds de ligneux à l'ha dans les zones non cultivées. Les espèces les plus rencontrées ont été *G. senegalensis* (193,88 pieds/ha), *C. glutinosum* (96,49 pieds/ha) et *P. reticulatum* (59,29 pieds/ha). Les Combretaceae sont donc les plus abondantes avec les espèces comme *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum*. Ces deux espèces sont abondantes et caractéristiques de la zone.

Parmi les ligneux recensés, *G. senegalensis* représente 56,38%, *C. glutinosum* 25,14% et *P. reticulatum* 16,08% (Fig 1).

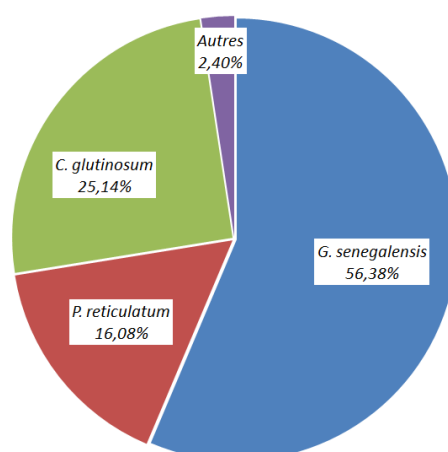


Fig. 1. Répartition des ligneux par espèces dans le terroir de Débo Massassi

Le nombre moyen de *G. senegalensis* est significativement différent de celui des autres ligneux à $P < 0,0001$, $R^2=0,554$ et un intervalle de confiance de 95%. Il ya une différence significative entre les ligneux qui sont classés en 3 groupes (Tableau 3).

Tableau 3. Classement et regroupements des ligneux non significativement différents

Espèces ligneuses	Densité/ha	Regroupements
<i>G. senegalensis</i>	193,879	A
<i>C. glutinosum</i>	96,491	B
<i>P. reticulatum</i>	59,290	
<i>Z. mauritiana</i>	5,541	C
<i>C. micranthum</i>	4,045	C
<i>F. gnaphalocarpa</i>	2,740	C
<i>T. macroptera</i>	1,711	C
<i>P. africana</i>	1,711	C
<i>D. mespilliformis</i>	1,153	C
<i>S. birrea</i>	0,433	C
<i>S. setigera</i>	0,433	C
<i>M. inermis</i>	0,350	C

3.2 GRANULOMÉTRIE ET PH DU SOL

La nymphose s'effectue dans du sol sablonneux dont les particules solides appartiennent à 3 classes granulométriques: le sable, le limon et l'argile. Pour une profondeur de 20 cm, la teneur en sable est élevée (93,5%). Ce sol est pauvre en limon (4,5%) et en argile (2%). Le pH du sol varie entre 4,68 et 5,38 (Tableau 4).

Tableau 4. Teneurs moyennes en particules solides (%) et pH moyen du sol du terroir de Débo Massassi

Particules solides (calibre en mm)	Teneur	
	entre 0-10cm	entre 11-20cm
Sable (> à 0,05)	94,5%	93,5%
Limon fin (0,05-0,002)	3%	4,5%
Argile (< à 0,002)	2,5%	2%
pH	5,03 – 5,70	4,68 – 5,38

3.3 GAMME DE PLANTES HÔTES DE *G. HECATE*

Dans le cercle de Diéma, *G. hecate* se nourrit de 8 espèces de ligneux appartenant à 5 familles différentes (Tableau 5).

Tableau 5. Plantes hôtes de *G. hecate* dans le terroir de Débo Massassi

N°	Nom scientifique	Nom en langue locale		Famille
		Bamanakan	Soninké	
1	<i>Guiera senegalensis</i>	Koundiè	Khamu	Combretaceae
2	<i>Combretum glutinosum</i>	Tiankara	Tahé	
3	<i>Combretum micranthum</i>	Ngolobè	Kandé	
4	<i>Terminalia macroptera</i>	Wolo	Khamba	
5	<i>Piliostigma reticulatum</i>	Ngniama	Yahé	Caesalpiniaceae
6	<i>Sclerocarya birrea</i>	N'gouna	Tumbé	Anarcadiaceae
7	<i>Diospyros mespiliformis</i>	Sounsoun	Djomba	Ebenaceae
8	<i>Mitragyna inermis</i>	Dioun	Khilé	Rubiaceae

La moitié de ces espèces des plantes hôtes est de la même famille des combretacées. Des colonies de chenilles de stade 1 et 2 (stade grégaire) étaient présentes sur 1,70% des plantes recensées. Ces plantes sont *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum*. Parmi ces ligneux, *G. senegalensis* représente 54,38%, *C. glutinosum* 23,14%, *P. reticulatum* 13,08% et les autres 9,40%.

3.4 PRÉFÉRENCES ALIMENTAIRES DES CHENILLES

Pour toute la durée des observations, à un intervalle de confiance de 95% et $P < 0,0001$ le nombre moyen de chenilles de *G. hecate* a été de 13,11 sur *G. senegalensis*, 6,53 sur *P. reticulatum* et 1,63 sur *C. glutinosum*.

Les chenilles de stade 4 et 5 ont une préférence pour *G. senegalensis* ($65,74 \pm 24,74\%$), ensuite pour *P. reticulatum* ($23,34 \pm 17,42\%$) et enfin pour *C. glutinosum* ($6,23 \pm 6,02\%$). Pendant les 3 derniers jours du stade larvaire 5, les chenilles de *G. hecate*, en captivité, ont choisi uniquement les feuilles de *G. senegalensis*.

Les préférences des chenilles de stade 4 et 5 pour *G. senegalensis*, *P. reticulatum* et *C. glutinosum* sont significativement différentes (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse des différences préférentielles des plantes hôtes de *G. hecate* avec un intervalle de confiance à 95,00%

Plantes hôtes	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
<i>G. senegalensis</i> ~ <i>C. glutinosum</i>	11,474	6,785	2,410	< 0,0001	Oui
<i>G. senegalensis</i> ~ <i>P. reticulatum</i>	6,579	3,891	2,410	0,001	Oui
<i>P. reticulatum</i> ~ <i>C. glutinosum</i>	4,895	2,895	2,410	0,015	Oui

Valeur critique du *d* de Tukey: 3,408

3.5 PLANTES RECEVANT LES PONTES

Les œufs sont blancs et disposés côte à côte en masse (ooplaque), sur la face inférieure des feuilles les uns à côté des autres, formant des figures variables (Fig 2).



Fig. 2. Oöplagues de *G. hecate* d'âges sur les feuilles de *G. senegalensis*

Le nombre moyen d'œufs de *G. hecate* est de $111,57 \pm 33,59$ œufs par oöplague. Avec un intervalle de confiance à 95,00 % et $P < 0,0001$, le test Fisher a classé les plantes hôtes en 3 groupes significativement différents en fonction du nombre moyen d'œufs. Ainsi le nombre moyen d'œufs est de $164,50 \pm 16,58$ pour *C. glutinosum*, de $117,58 \pm 18,24$ pour *P. reticulatum* et de $95,93 \pm 12,47$ pour *G. senegalensis*.

Les oöplagues de *G. hecate* sont présentes sur 10,80% des pieds de plantes hôtes de l'aire d'échantillonnage. Les femelles choisissent comme site d'oviposition *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum*. Sur ces 3 espèces de plantes hôtes se trouvent 97,96% des oöplagues dénombrées. Parmi ces pieds portant au moins une oöplague, *G. senegalensis* représente 52,63%, *P. reticulatum* 38,60% et *C. glutinosum* 8,77%.

Sur les ligneux, ces oöplagues sont positionnées géographiquement comme suit: 40,00% à l'Est, 15,71% à l'Ouest, 27,14% au Nord et 17,14% au Sud.

Les hauteurs d'insertion des oöplagues varient de 10 cm à 194 cm au dessus du sol. La hauteur d'insertion moyenne est de $58,50 \pm 45,35$ cm pour les trois plantes hôtes (Tableau 7).

Tableau 7. Hauteur moyenne des plantes hôtes et des points d'insertion des oöplagues à Débo Massassi

Plantes hôtes	Taille moyenne	Hauteur moyenne d'insertion des oöplagues
<i>C. glutinosum</i>	236,75	110
<i>G. senegalensis</i>	68,06	24,375
<i>P. reticulatum</i>	81,95	41,15

La corrélation est significative entre les hauteurs d'insertion des oöplagues et les hauteurs des plantes hôtes (Test de corrélation de Spearman: au seuil de signification $\alpha = 0,050$, p-value bilatérale $< 0,0001$). Elle n'est pas significative entre la densité des plantes hôtes et les nombres d'oöplagues par plantes hôtes.

4 DISCUSSION

La distribution de *G. hecate* dans la zone d'étude est discontinue. L'absence de *G. hecate* a été constatée dans des zones peuplées de plantes hôtes comme *G. senegalensis* situées sur des terres latéritiques. Par contre, *G. hecate* est présent sur les plantes hôtes situées sur des terres sablonneuses. Ce constat peut s'expliquer par le fait que les chenilles de *G. hecate* ont plus de facilité à pénétrer dans le sol sablonneux et à se transformer en chrysalide. Les résultats de Gardiner [22] confirment ce constat. Celui-ci a établi une relation entre la viabilité de la chrysalide et le type de sol. Les chrysalides ont un meilleur taux de survie dans du sol sablonneux que dans d'autres types de substrat. Des conditions plus sèches (inapproprié pour la croissance bactérienne, fongique et virale) fournissent de meilleures conditions pour la mue et permettent à la chrysalide de durcir plus rapidement [22]. La densité de la population de *Goimbrasia. belina* est en relation avec la plante hôte *Colophospermum mopane* en Afrique australe [23]. La distribution est donc en relation avec le sol et le climat.

A Débo Massassi, 8 espèces de plantes hôtes sont dénombrées pour *G. hecate*. En Afrique australe, 14 espèces de plantes hôtes sont dénombrées pour *G. belina* [24], [25]. Il semble que la gamme est plus large car les chenilles au stade 4 et 5 sont capables de

se nourrir sur des ligneux rencontrés «au hasard». Les deux espèces de *Goimbrasia* sont donc polyphages. Ces plantes hôtes sont très répandues dans la zone.

Ainsi, *G. senegalensis* est un arbuste souvent en touffes buissonnantes très commun dans la zone sahélienne. Il envahit les terrains défrichés surtout quand ils sont sablonneux et à tendance stérile et forme alors de vastes étendues continues [19]. Et *C. glutinosum* est un arbuste haut de 4 à 12 m très répandu au sahel et dans la savane boisée, surtout dans les terres argileuses des plateaux latéritiques [26].

G. senegalensis et *P. reticulatum* sont les plantes préférées des chenilles de *G. hecate* de stade 4 et 5. Ce choix pourrait être lié à la composition chimique de leurs hôtes principaux [27].

Les enfants choisissent de préférence *G. senegalensis* que les autres plantes pendant la récolte des chenilles. Ce choix se justifie selon la population locale par le fait que les chenilles de *G. senegalensis* ont un goût meilleur par rapport aux chenilles des autres plantes hôtes [28]. En plus, les chenilles de *G. hecate* se nourrissent majoritairement des feuilles de *G. senegalensis* dont l'extrait possède des principes biologiques actifs de nature sédative [29], antipaludique [30] et anti-diarrhéique et anti-ulcère [31]. *G. senegalensis* produit le tanin acide 3,4,5-tri-O-galloylquinique et plusieurs alcaloïdes de la famille harman [32]. Elles consomment aussi des feuilles de *C. glutinosum* dont l'action hypoglycémiant a été démontrée par Baldé [33] et des feuilles de *P. reticulatum* qui ont des propriétés antidiarrhée [34] et antibactérienne [35]. Ces actions thérapeutiques s'expliquent par le fait que des peptides antimicrobiens ont été mis en évidence chez certaines espèces d'insectes [36]. Ces principes actifs peuvent être produits par les insectes eux-mêmes ou par les plantes et d'autres espèces animales dont se nourrissent ces insectes qui les stockent ou les transforment pour leur propre défense [37].

Les femelles de *G. hecate* préfèrent pondre sur *G. senegalensis* quelque soit sa taille. Cette préférence peut s'expliquer par le fait que *G. senegalensis* est buissonnant. Ce qui offre plus de sécurité pour les adultes, les œufs et les chenilles de stade larvaire 1 et 2. Il a été suggéré que la préférence pour les arbres feuillus pourrait être liée à la plus grande quantité d'ombre fournie et à la sécurité [38]. Car en fonction de la taille, la silhouette, la couleur et le contraste, certains pieds d'une même espèce végétale attirent et retiennent les femelles de façon répétitive, alors que d'autres sont régulièrement évités [39]. Les lépidoptères identifient les plantes-hôtes et site de ponte par la vue [40], [41]. Ainsi, les femelles sélectionnent ainsi les pieds les plus favorables au développement des larves [42]. *G. senegalensis* est plus préféré en raison de sa forte teneur en eau qui favorise la croissance des chenilles [43]. Donc les nutriments interviennent dans la décision finale de la femelle dans le choix de la plante hôte [44].

La hiérarchie préférentielle des hôtes est également génétique et contrôlée par plusieurs gènes [45], [46].

Par contre le faible nombre moyen d'œufs par ooplaque située sur *G. senegalensis* s'expliquerait par la petite taille relative des feuilles de cette espèce. Les femelles de *G. hecate* déposent en moyenne $86,90 \pm 34,79$ œufs sur la face inférieure des feuilles. *G. belina*, peut déposer jusqu'à 355 œufs en une ooplaque. Cette différence du nombre d'œufs peut être du au support végétal. En effet, *G. belina* vit sur un arbre [25] alors que de *G. hecate* vit essentiellement sur les ligneux. Le nombre d'œufs est influencé par les qualités mécaniques (forme, texture, position) du support [12].

5 CONCLUSION

Les travaux menés permettent de dire que *G. hecate* est une espèce bien adaptée à la zone sahélienne car elle vit sur plusieurs espèces de ligneux autochtones. Les chenilles de *G. hecate* se nourrissent de 8 espèces de plantes hôtes. Les femelles sont sélectives dans le choix du lieu de ponte. Les sites d'oviposition sont généralement sur les feuilles de *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum*. Les larves âgées peuvent vivre sur plusieurs espèces de plantes qui ne sont pas choisies par les femelles. *G. senegalensis* est la plante hôte préférée des femelles pour la ponte et des chenilles pour la prise de nourriture. Ces données sont importantes pour ceux qui chercheraient à élever *G. hecate* en laboratoire.

La gestion rationnelle de *G. hecate* (insecte comestible) passe par une compréhension de son milieu et est un atout dans la lutte contre la pauvreté et la protection de l'environnement. Une production d'insectes comestibles maîtrisée est synonyme d'une amélioration de l'alimentation, de la santé et d'une augmentation des revenus notamment ceux des populations vulnérables.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la population de Débo Massassi pour leur disponibilité pendant les entretiens et leur apport pour l'échantillonnage. Ils sont reconnaissant des apports financiers du Fond International pour la Science (IFS) et de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) à travers le fond pour la formation des formateurs du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (Mali).

REFERENCES

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, « Produits forestiers non ligneux », Division des produits forestiers, 2003. [Online]. Disponible sur: www.fao.org/forestry/site/6388/fr. [Consulté le: 28-oct-2018].
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations, « Contribution des insectes de forêt à la sécurité alimentaire », 2004. [Online]. Disponible sur: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/j3463f/j3463f00.htm. [Consulté le: 27-oct-2018].
- [3] F. S. Bodenheimer, « Insects as human food », in *Insects as Human Food*, Springer, 1951, p. 7-38.
- [4] G. R. DeFoliart, « Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects », *Crop protection*, vol. 11, no 5, p. 395-399, 1992.
- [5] F. Malaisse, « Ressources alimentaires non conventionnelles », *Tropicultura*, vol. 22, p. 30-36, 2004.
- [6] A. Van Huis, « Insects as food in sub-Saharan Africa », *International Journal of Tropical Insect Science*, vol. 23, no 3, p. 163-185, 2003.
- [7] O. Omotoso, « Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient compositions of the larva of *Cirina forda* (Westwood) (Lepidoptera: Saturniidae) », *Journal of Zhejiang University Science B*, vol. 7, no 1, p. 51-55, 2006.
- [8] G. R. DeFoliart, « Insects as food: why the western attitude is important », *Annual review of entomology*, vol. 44, no 1, p. 21-50, 1999.
- [9] J. Risbec, *La faune entomologique des cultures au Sénégal et au soudan français: II. Contribution à l'étude des Proctotrupidae...*, vol. 1. Gouvernement général de l'Afrique occidentale française, 1950.
- [10] P. Pesson, « A propos de l'instinct botanique des insectes: un aspect de la co-évolution des plantes et des insectes », 1980.
- [11] D. A. Nordlund, *Semiochemicals: a review of the terminology*, vol. 6. John Wiley & Sons, New York, 1981.
- [12] P.-C. Robert, « Les relations plantes-insectes phytophages chez les femelles pondeuses : le rôle des stimulus chimiques et physiques. Une mise au point bibliographique », *Agronomie*, vol. 6, no 2, p. 127-142, 1986.
- [13] B. Sagara, M. B. M. Cissé, et A. Coulibaly, « Quelques aspects de la bioécologie de *Goimbrasia hecate* (Lepidoptera; Saturniidae) dans la zone soudano sahélienne au Mali. », *Revue Malienne de Science et de Technologie*, no 20, p. 26-41, 2018.
- [14] M. B. M. Cissé, B. Sagara, A. Coulibaly, et A. Coulibaly, « Valeur nutritive et importance des chenilles de *Goimbrasia hecate* pour la communauté de Debo Massassi au Mali. », *Revue Malienne de Science et de Technologie*, no 20, p. 42-52, 2018.
- [15] Institut National de la Statistique (INSTAT), « Sixième Enquête Démographique et de Santé au Mali (EDSM-VI) 2018 », Cellule de Planification et de Statistique Secteur Santé-Développement Social et Promotion de la Famille, Bamako, Mali, Indicateurs Clés 6ème édition Indicateurs clés (EDS-VI), 2019.
- [16] Secteur d'Agriculture de Diéma, « Registre des données pluviométriques », 2010.
- [17] Secteurs de l'Agriculture de Diéma, « Rapport annuel », rapport final de campagne, 2012.
- [18] D. Debouzie, J.-B. Denis, et J.-P. Rospars, « Echantillonnage et répartition spatiale », *Comptes rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, vol. 73, no 7, p. 73-82, 1987.
- [19] M. Arbonnier, *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. Editions Quae, 2009.
- [20] S. N'Dao, A. Mendy, F. Diome, H. Dacosta, R. Malou, et L. E. Akpo, « Influence des pratiques agricoles sur l'arbre des parcs agroforestiers soudano-sahéliens: le cas du terroir de la Néma (Sine-Saloum) », *Etudes et recherches sahéliennes*, no 11, p. 41-56, 2004.
- [21] C. Meyer, « Dictionnaire des Sciences Animales », Montpellier, France, Cirad, 2012. [Online]. Disponible sur: <http://dico-sciences-animales.cirad.fr>. [Consulté le: 10-déc-2016].
- [22] A. Gardiner, « Mopane Woodlands and the Mopane Worm: Enhancing rural livelihoods and resource sustainability Final Technical Report », Veld Products Research & Development, Gaborone, Botswana, DFID Project No. R7822, 2003.
- [23] M. Moruakgomo, « Commercial utilization of Botswana's veld products-The economics of phane-the dimensions of phane trade », présenté à *Proceedings of the multidisciplinary symposium on phane*, held in Gaborone, 1996, vol. 18.
- [24] F. W. Taylor and H. Moss, *Final report on the potential for commercial utilization of veld products*. Ministry of Commerce & Industry, 1982.
- [25] J. Allotey, G. Teferra, S. Mpuchane, M. Dithogo, B. Gashe, and B. Siambe, « Mopane (*Colophospermum mopane*) as a host for the development of the mopane worm, *Imbrasia belina*, Westwood », présenté à Botswana. In: *Management of Mopane in Southern Africa: Proceedings of a Workshop held at Ogongo Agricultural College, Northern Namibia, 26th to 1996*, p. 50-53.
- [26] M. Baumer, « Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique occidentale », 1995.
- [27] R. Karban and A. A. Agrawal, « Herbivore offense », *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 33, no 1, p. 641-664, 2002.
- [28] B. Sagara, « Etude diagnostique sur les insectes utiles au Mali et caractérisation d'*Imbrasia* sp (Lepidoptera Saturniidae) », Thèse de doctorat —, ISFRA, Bamako, 2013.
- [29] S. Amos, E. Kolawole, P. Akah, C. Wambebe, and K. Gamaniel, « Behavioral effects of the aqueous extract of *Guiera senegalensis* in mice and rats », *Phytomedicine*, vol. 8, no 5, p. 356-361, 2001.

- [30] J. Fiot, S. Sanon, N. azaz, V. Mahiou, O. Jansen, L. Angenot, G. Balansard and E. Olivier, « Phytochemical and pharmacological study of roots and leaves of *Guiera senegalensis* JF Gmel (Combretaceae) », *Journal of ethnopharmacology*, vol. 106, no 2, p. 173-178, 2006.
- [31] S. Aniagu, L. Binda, F. Nwinyi, A. Orisadipe, S. Amos, C. Wambebe and K. Gamaniel, « Anti-diarrhoeal and ulcer-protective effects of the aqueous root extract of *Guierasenegalensis* in rodents », *Journal of ethnopharmacology*, vol. 97, no 3, p. 549-554, 2005.
- [32] Y. Tine, M. Diop, I. Ndoeye, A. Diallo, et A. Wele, « Revue bibliographique sur la composition chimique et les activités biologiques de *Guiera senegalensis* JF Gmel. (Combretaceae) », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, no 7, p. 3449-3462, 2019.
- [33] E. Baldé, A. Camara, M. Traoré, V. Mégalizzi, Z. Kahvecioglu, J. Colet, et A. Baldé, « CA-028: *Combretum glutinosum* a une double activité hypoglycémiant et cytotoxique », *Diabetes & Metabolism*, vol. 42, p. A42-A43, 2016.
- [34] K. Dosso, B. N'guessan, A. Bidie, B. Gnanngoran, S. Méité, D. N'guessan, A. Yapo, and E. Ehilé, « Antidiarrhoeal activity of an ethanol extract of the stem bark of *Piliostigma reticulatum* (Caesalpiniaceae) in rats », *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, vol. 9, no 2, p. 242-249, 2012.
- [35] O. J. Babajide, O. O. Babajide, A. O. Daramola, and W. T. Mabusela, « Flavonols and an oxychromonol from *Piliostigma reticulatum* », *Phytochemistry*, vol. 69, no 11, p. 2245-2250, 2008.
- [36] G. Mazars, *Recherches ethnopharmacologiques sur les insectes et autres arthropodes: l'intérêt de la pharmacopée chinoise traditionnelle*. 2004.
- [37] T. Eisner, « Chemical defense against predation in arthropods », in *Chemical ecology*, Elsevier, 1970, p. 157-217.
- [38] C. Björkman, S. Larsson, and R. Bommarco, « Oviposition preferences in pine sawflies: a trade-off between larval growth and defence against natural enemies », *Oikos*, p. 45-52, 1997.
- [39] S. P. Courtney, « Coevolution of pierid butterflies and their cruciferous foodplants IV. Crucifer apparency and *Anthocharis cardamines* (L.) oviposition », *Oecologia*, vol. 52, no 2, p. 258-265, 1982.
- [40] M. D. Rausher, « Egg recognition: its advantage to a butterfly », *Animal Behaviour*, vol. 27, p. 1034-1040, 1979.
- [41] C. Wiklund, « Generalist versus specialist utilization of host plants among butterflies », *Insect-plant relationships*. PUDOC, Wageningen, p. 181-192, 1982.
- [42] R. Jones and P. Ives, « The adaptiveness of searching and host selection behaviour in *Pieris rapae* (L.) », *Australian Journal of Ecology*, vol. 4, no 1, p. 75-86, 1979.
- [43] P. Feeny, « Biochemical coevolution between plants and their insect herbivores », *Coevolution of animals and plants*, 1975.
- [44] S. Derridj et V. Fiala, « Sucres solubles des feuilles de maïs (*Zea mays* L.) et oviposition de la pyrale (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) », *CR Acad. Agric. Fr*, vol. 69, p. 465-472, 1983.
- [45] B. E. Tabashnik, H. Wheelock, J. D. Rainbolt, et W. B. Watt, « Individual variation in oviposition preference in the butterfly, *Colias eurytheme* », *Oecologia*, vol. 50, no 2, p. 225-230, 1981.
- [46] R. J. Prokopy, P. T. McDonald, and T. T. Wong, « Inter - population variation among *Ceratitis capitata* flies in host acceptance pattern », *Entomologia experimentalis et applicata*, vol. 35, no 1, p. 65-69, 1984.

Analyzing Site Suitability for Solid Waste Dumping Through GIS and MCDMHP: A case study of Gazipur City Corporation, Bangladesh

Md. Fazlee Rabby¹, Ummeh Saika², and Mohammad Ismail Hossain³

¹Research student, MSGED, Department Geography and Environment, Jahangirnagar University, Dhaka, Bangladesh

²Associate Professor, Department of Geography and Environment, Jahangirnagar University, Dhaka, Bangladesh

³Post-doc, Department of Tourism Science, Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Locating a suitable solid waste disposal site has been a major problem in the municipal environment in developing countries. Especially, urban solid waste management system needs solid waste management technique. Several, countries like Bangladesh are struggling to establish proper waste management systems in the context of increasing population, urbanization, and industrialization. The main objective of this study was to select potential areas for suitable solid waste dumping sites, which are environmentally suitable. This study were Landsat images; digital elevation model (DEM) and ground control point collected by GPS and topographical map of the study area. The maps were prepared by overlay and suitability analysis of GIS, Rs and MCA methods. Relative importance weight of each criterion in the GIS and AHP was determined and finally the suitability map was prepared. A probability map was created based on field observations and the final suitability map, appropriate solid waste landfill site. Therefore, government, private and other organizations are using these techniques for development planning and implementation at every sector. These findings may provide policymakers with crucial information for better solid waste management policy development, which Government, private and other organizations are using these techniques for development planning and implementation at every sector.

KEYWORDS: Geospatial techniques; Government; Implementation; Landsat images; Planning.

1 INTRODUCTION

Municipal solid waste (MSW) is commonly defined as all solid waste produced by domestic, manufacturing, commercial, administrative, or construction waste and its constituents, such as metals, food, plastics, glass, and paper [1]. In the world today, solid waste has become a global environmental and health challenge in both developing and developed countries [2]. Such environmental problems, along with social, fiscal, and land scarcity considerations, raise questions about land management and assessment strategies [3,4]. Due to population development, urbanization, and poor human awareness, problems are getting at an alarming level in developing countries where the non-scientific method of solid waste management is used. In recent decades, many African, Asian, American, and European countries have changed their waste management practices from landfilling to incineration [5]. Waste, which is generated because of a variety of human actions, causes significant problems in human environments. Population development, fast economic growth, and the living standards have all increased the production of solid waste around the world [6]. As a result, careful site selection for dumping solid waste away from natural facilities, residential neighborhoods, water bodies, highways, faults, and settlements is critical for proper solid waste management. Solid wastes in urban areas are often made up of plastics, bottles, materials, metals, and kitchen waste, all of which have a diverse structure and are slow to degrade, causing more environmental damage. The current waste management strategies are based on the principles of reuse, recycling, energy efficiency, and energy recovery [7].

Geographical Information Systems (GIS) have been increasingly important in the decision-making process in recent years. The benefit of using a GIS-based method for site selection is that it saves time and money. It also offers a digital data inventory for the site's long-term monitoring [8]. GIS can use, generate, and analyze spatial or attribute data for solid waste disposal site selection practices, and remote sensing can provide knowledge about different spatial parameters such as land-use/land-cover [1]. There is a vast literature on landfills that can potentially be used to select solid waste landfill sites [8,9].

GIS applications for identifying possible waste disposal sites have been examined in different of locations [10]. Over the last few decades, researchers have widely used remote sensing and GIS-based multi-criteria decisioz analysis (MCDA) to show that sanitary landfilling is the most appropriate waste management system [4,11]. These methods are useful in resolving the issue of successfully identifying waste dumping location and management [10]. This study aimed to identifying suitable zone for solid waste dumping and recycling based on some special criteria using combine Multi Criteria decision-making analysis and GIS analysis in Gazipur City Corporation, Bangladesh.

2 METHODS

Study area: Gazipur City Corporation lies between 23°52'45" and 24°6'12" north latitudes and between 90°15'2" and 90°29'50" east longitudes (Figure 1). Total area is 329.53sq.km and population is approximately 3 million and situated in the center of the country [12]. GCC is the largest and 11th city corporation of the country. Textile and garment factory are the major industrial collaboration here. Along with that rice mills and other factory are in production [13].

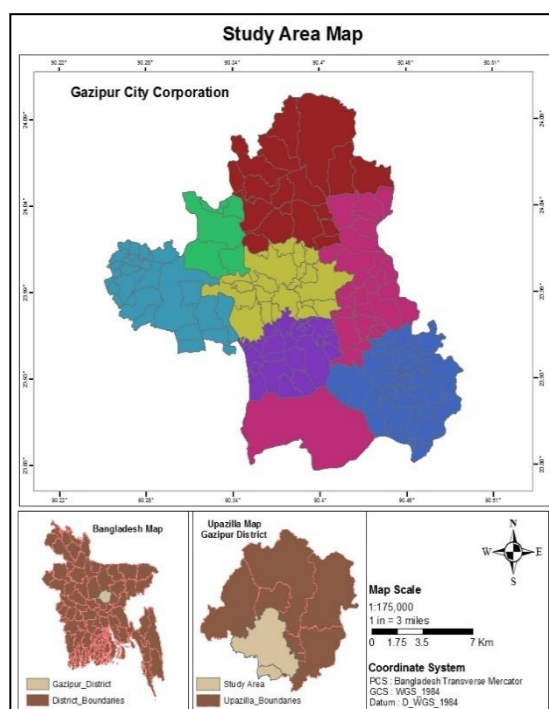


Fig. 1. Geographic location of the study area; Gazipur City Corporation, Bangladesh

Criteria determining factor: The governing factors of occurrence of suitability cite selection to choose best waste dumping sites in the study region were used as criterion, which indicate the relationships between solid waste dumping site suitability selection and natural factors that evaluate its occurrence. In this study, four (Highway roads, major roads and streets, river and rail line) standards for determining solid waste dump site selection were chosen. The research took into consideration factors such as land use/cover, geological formations, lithology, slope, distance to river, built-up, path, soil, drainage, and well points.

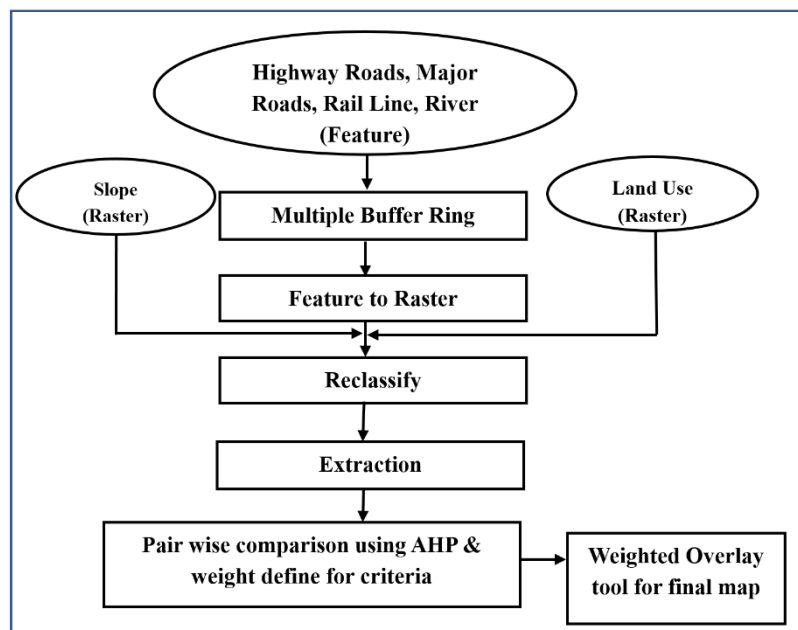
The analysis incorporated both primary and secondary results. Field surveys and observations were used to gather primary data. Secondary data for the study was gathered from the internet, reports, books, journals, public agencies, and other sources. The key data for this analysis is an image view of the town with a spatial resolution of 30 m, the town's master plan, and the town's topographical map. To improve the analysis of the topographical map file, preprocessing operations such as radiometric, image reconstruction, and rectification were used.

Table 1. Scales of Pair Wise Comparison

Scale	Description
1	Equally Preferred
2	Equally to Moderately Preferred
3	Moderately Preferred
4	Moderately to Strongly Preferred
5	Strongly Preferred
6	Strongly to Very Strongly Preferred
7	Very Strongly Preferred
8	Very to Extremely Strongly Preferred
9	Extremely Preferred

The research used a spatial multi-criteria analysis approach to find the best solid waste disposal location. By narrowing down possible options based on predefined parameters and weights and allowing sensitivity analysis of the outcomes from these procedures, multi-criteria approaches (MCA) have the potential to minimize the costs and time involved in siting facilities [14,15]. The mapping of solid waste disposal site selection was performed using multi-criteria assessment and layering to provide a single performance chart or evaluation index [16].

On different layers, classifications were made, and values were allocated ranging from most suitable to least important. After distance measurement, reclassification of layers was grouped into the 1's, 2's, 3's, 4's and 5's scoring scheme, where 1 reflected Not Suitable, 2 Less Suitable, 3 Moderate Suitable, 4 Suitable and 5 Most Suitable. As previously mentioned, these standards were established by consulting various references in the literature. The results of the pair-wise analysis of parameters were then entered into a comparison matrix. The matrix is filled with numbers ranging from 1 to 9 and fractions ranging from 1/9 to 1/12 to reflect the relative importance of each element in the pair.

**Fig. 2. Methodology framework of the study**

The matrix's values must be consistent, which ensures that if x is compared to y and gets a 5 (high importance), y to x should get a 1/5. (Little importance). When everything is related to itself, it receives a ranking of one (equal importance). Each column's weights were added together, and each factor in the matrix was divided by the number of the column's weights. Finally, an average was determined using the elements from each row of the normalized matrix. The consistency ratio (CR) was measured to ensure that decision makers' comparisons of parameters were consistent. The law is that a reciprocal matrix with a CR less

than or equal to 0.10 is permissible, whereas one with a CR greater than 0.10 is not. This procedure yields weights that are the sum of all possible weights.

$$\text{Consistency Index} = (\text{Lambda max} - n) / (n - 1)$$

Lambda max (λ) is the Principal Eigen Value; n is the number of factors.

$$\text{Consistency Ratio} = \text{Consistency Index (CI)} / \text{Random Index (RI)}$$

If, CR is less than 10% or 0.10 indicates that the consistency ratio level in the matrix is satisfactory and acceptable. AHP method is popular because of its simplicity for obtaining the weights and decision problems.

Table 2. Criteria for dump site selection suitability and their rank

Factors	Parameter (M)	Suitability Class	Rank	Weight	Area (ha)	Area (%)
Highway Roads	0-500	1 Not Suitable	1	0.103	5349.262	23.726
	500-1500	2 Less Suitable	5		9371.386	41.567
	1500-1800	3 Moderate Suitable	4		2507.721	11.123
	1800-2200	4 Suitable	3		3157.720	14.006
	2200-2500	5 Most Suitable	2		2158.974	9.576
Major Roads & Streets	0-100	1 Not Suitable	1	0.249	4157.483	16.995
	100-400	2 Less Suitable	5		10144.259	41.467
	400-600	3 Moderate Suitable	4		4601.612	18.810
	600-800	4 Suitable	3		3210.473	13.123
	800-1000	5 Most Suitable	2		2349.102	9.602
Rail Line	0-500	1 Not Suitable	1	0.043	4000.920	24.698
	500-1500	2 Less Suitable	5		6854.610	42.315
	1500-1800	3 Moderate Suitable	4		1728.037	10.667
	1800-2200	4 Suitable	3		2135.322	13.181
	2200-2500	5 Most Suitable	2		1479.891	9.135
River	0-800	1 Not Suitable	1	0.161	5878.826	28.444
	800-2000	2 Less Suitable	5		6696.714	32.401
	2000-2500	3 Moderate Suitable	4		2387.541	11.551
	2500-3500	4 Suitable	3		3991.783	19.313
	3500-4000	5 Most Suitable	2		1713.089	8.288
Land Use	Water Bodies	1 Not Suitable	1	0.379	1161.697	3.624
	Forest & mixed-use area	2 Less Suitable	2		11564.055	36.079
	Built up area	3 Moderate Suitable	3		3922.987	12.239
	Industrial area	4 Suitable	4		1780.11	5.553
	Crop & bare Land	5 Most Suitable	5		13622.4	42.501
Slope	0-3	1 Not Suitable	5	0.065	22721.995	71.041
	3-8	2 Less Suitable	4		9042.282	28.271
	8-11	3 Moderate Suitable	3		185.483	0.579
	11-15	4 Suitable	2		27.888	0.087
	15-29.53	5 Most Suitable	1		6.489	0.020

3 RESULTS AND DISCUSSION

Highway roads suitability: The Highway roads suitability distance calculated is shown in In the study area, 41.567% and 11.123% of the area are less suitable and moderately suitable, respectively, while 23.726%, 14.006% and 9.576% of the area is not suitable, suitable, and most suitable, respectively, for waste disposal sites. Major Roads & Streets proximity in the remaining study area is less suitable (41.467%), for solid waste disposal sites. The dump site should also be far from commercial buildings, urban green space, service area and industries.

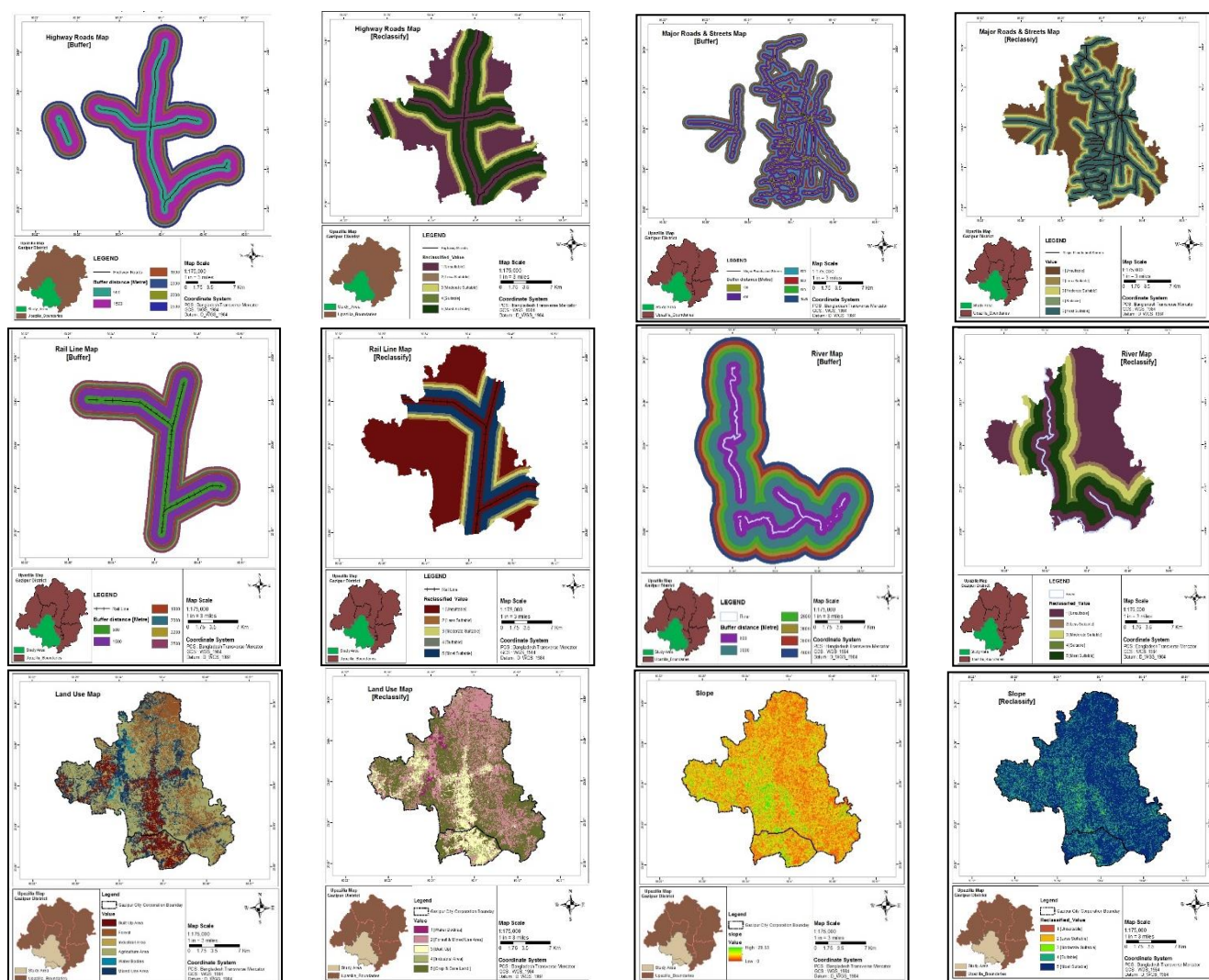


Fig. 3. Original and reclassified thematic maps.

Major roads & streets: The Major roads and streets suitability distance calculated is shown in In the study area, 41.467% and 18.810% of the area are less suitable and moderately suitable, respectively, while 44.3%, 13.123% and 9.602% of the area is unsuitable, suitable and highly suitable, respectively, for waste disposal sites. Road proximity in the remaining study area is moderate to less suitable, for solid waste disposal sites. The dump site should also be far from commercial buildings, urban green space, service area and industries.

Rail line: The Major roads and streets suitability distance calculated is shown in In the study area, 42.315% and 10.665% of the area are less suitable and moderately suitable, respectively, while 24.698%, 13.181% and 9.135% of the area is not suitable, suitable, and most suitable, respectively, for waste disposal sites. Road proximity in the remaining study area is moderate to less suitable, for solid waste disposal sites. The dump site should also be far from commercial buildings, urban green space, service area and industries.

River: Solid wastes disposed near the river cause ecological, agricultural and health problems. Considering these problems, the suitability of solid waste dump site map was produced (and Figure 3). Accordingly, 28.444% of the area was not suitable, 32.401% was less suitable, 11.551% was moderately suitable, 19.313% was suitable, and 8.288% was not suitable for solid waste disposal site in GCC. Based on figure 3 the above standards, suitability map of river point was prepared.

Land-use/land-cover suitability: Land-use/land-cover map was produced for dumping waste with an overall accuracy of 86%. The land-use map displays the land utilized by human and natural cover in the GCC. The land-use map indicates the areas of water bodies, forest and mixed-use area, buildup area, industrial area, and crop & bare area. Most of the region is occupied by crops & bare area. Based on the land-use/land-cover suitability, the largest part of the study area (42.501%) is most suitable

for solid waste disposal sites, whereas 5.553% and 36.079% of the area were suitable and less suitable, respectively. The remaining 3.624% of the study area was not suitable for solid waste disposal site.

Table 3. Pair wise comparison in nine point continuous scale

Criterion	Land Use	Major Roads & Streets	Slope	Highway	River	Rail Line
Land Use	1					
Major Roads & Streets	1/2	1				
River	1/3	1/2	1			
Highway	1/4	1/3	1/2	1		
Slope	1/5	1/4	1/3	1/2	1	
Rail Line	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1
Total	2.45	4.283	7.083	10.833	15.500	21

Slope suitability: The topography of the study area is dominated by a slope of 0–3°, which accounts for 71.041% was not suitable of the total study area. The second most dominant topography of the study area is 3–8° covering 28.271% of total area and the remaining 0.020% of the area is with a slope >20° (Table 2). Based on the slope suitability coverages of GCC, the extent of highly suitable, suitable, and unsuitable sites was demarcated, and the suitability map was prepared (Figure 3).

Overlaying and identifying suitable area: The site selection for solid waste disposal dumping site involves comparison of different options based on environmental, social and economic impact. Hence, based on experience and likely impact on surrounding environment, different weights were assigned to all the parameters. The larger the weight, the more important is the criterion in the overall utility. The weights were developed by providing a series of pair wise comparisons of the relative importance of factors to the suitability of pixels for the activity being evaluated. The procedure by which the weights were produced follows the logic developed by [17] under the Analytical Hierarchy Process (AHP). Weight rates were given based on pair wise comparison 9-point continuous scale (Table 3). These pair wise comparison was then analyzed to produce of weights that sum to 1 (Table 3). The factors and their resulting weights were used as input for the multi criteria evaluation (MCE) module for weighted linear combination of overlay analysis.

According to Nordström, Eriksson, & Öhman, (2010) and Thomas L. Saaty, (1977) if the consistency ratio is less than or equal to 0.1, it signifies acceptable reciprocal matrix. The consistency ratio of this study indicated that 0.03 was acceptable (Table 4). To combine all the layers to process overlay analysis, standardization of each data set to a common scale of 1, 2, 3, 4 (value 1 = unsuitable (restricted), value 2 = less suitable, value 3 = moderately suitable, value 4 = suitable, and value 5 = most suitable) was performed. Finally, all the parameters were weighted with their respective percent of influence and overlay to produce the suitability map. The factors, their values and weights are summarized in According to the degree of importance, they have the role of selecting suitable solid waste dumping site. After the overlay analysis of the given factors the following suitable solid waste dumping site map was produced (Figure 4).

The final map (Figure 4) has five colors (classes): Deep pink (unsuitable), Burlywood (less suitable), Dark olive green (Moderate suitable), Chartreuse (suitable) and Dark green (most suitable). The most suitable area for solid waste dumping site is marked by deep green color shaded (class 5). Out of the total area of the study site, about Direct overlay methods are applied to prepare the map. Here, weights are distributed equally for all criteria and 5.591 sq. km of area found as most suitable area. This area covers 1.77% of total area. And 78.451 sq km is found as suitable zone which covers 24.84% of the total area. Weights are assigned as per “criterion weights table” for the map as because consistency ratio was satisfactory. After analysis 8.81sq km area is found as most suitable zone that covers 2.79% of the total area. Along with that 97.25 sq km. found as suitable zone that is 30.79% of total area.

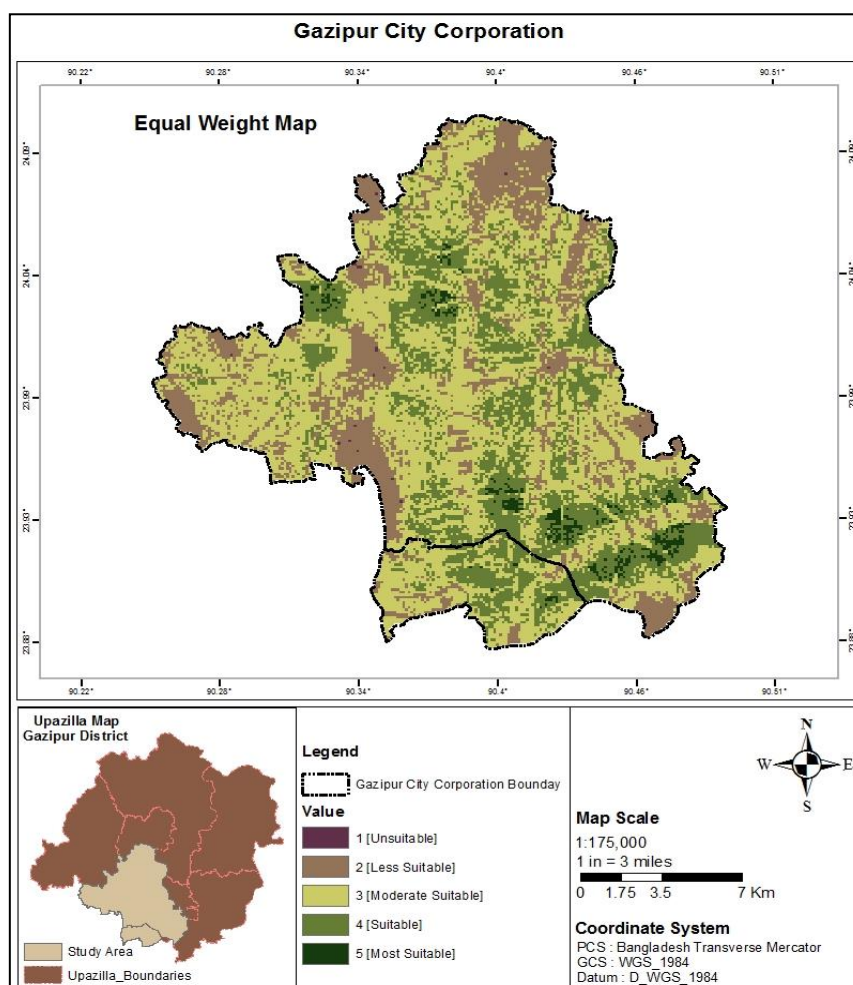


Fig. 4. Equal weight map

Table 4. Equal Weight and Defined Weight by calculating the principal eigenvector of pair wise comparison matrix

Score	Level	Equal Weight		Defined Weight	
		Area (sq.km)	Area Coverage (%)	Area (sq.km)	Area Coverage (%)
1	Unsuitable	0.285	0.09	1.873	0.59
2	Less Suitable	70.051	22.18	66.169	20.95
3	Moderate Suitable	161.488	51.12	141.770	44.88
4	Suitable	78.451	24.84	97.246	30.79
5	Most Suitable	5.591	1.77	8.807	2.79

The present study represents an important step in addressing a critical gap in the detection of waste disposal sites and to enhance cost-effectiveness and efficiency of waste management efforts. Due to their ability to manage large volumes of spatial information from various resources, GIS is ideal for site selection studies [8], and are being widely applied in the recent past for site selection studies. The integration of both GIS and multi-criteria techniques improves decision-making because it establishes an environment for transformation and combination of geographical data and stakeholders preferences [10]. Solid waste dumping site should be located at a suitable distance from roads to facilitate transportation and consequently to reduce relative costs. In GCC, waste dumping is mostly on the roadside. According to Mussa & Suryabhagavan, (2019), a minimum distance of 700 m buffer should be maintained for road suitability dumpsite location and used multiple buffer ring extents and the grading values for roads. At present GCC has grown at an unexpected growth and as a result, the distance of the facility to the nearest residential area is only few kilometers. Groundwater circulation and the downward flow of pollutants through rocks and soils depend on the hydrogeological condition of the materials; more specifically hydraulic properties such as

porosity, permeability, and transitivity. The proximity of a solid waste dump site to a groundwater well point is an important environmental criterion in the dumpsite selection so that well points may be protected from the runoff and discharge. Therefore, solid waste disposal sites should be away from wells. Additionally, it can have irreversible human and environmental effects. Distance from groundwater well was considered as an important to prepare the water sources for activities and drinking water, and they are influenced by many factors including agricultural, and reactions occurred in landfill sites.

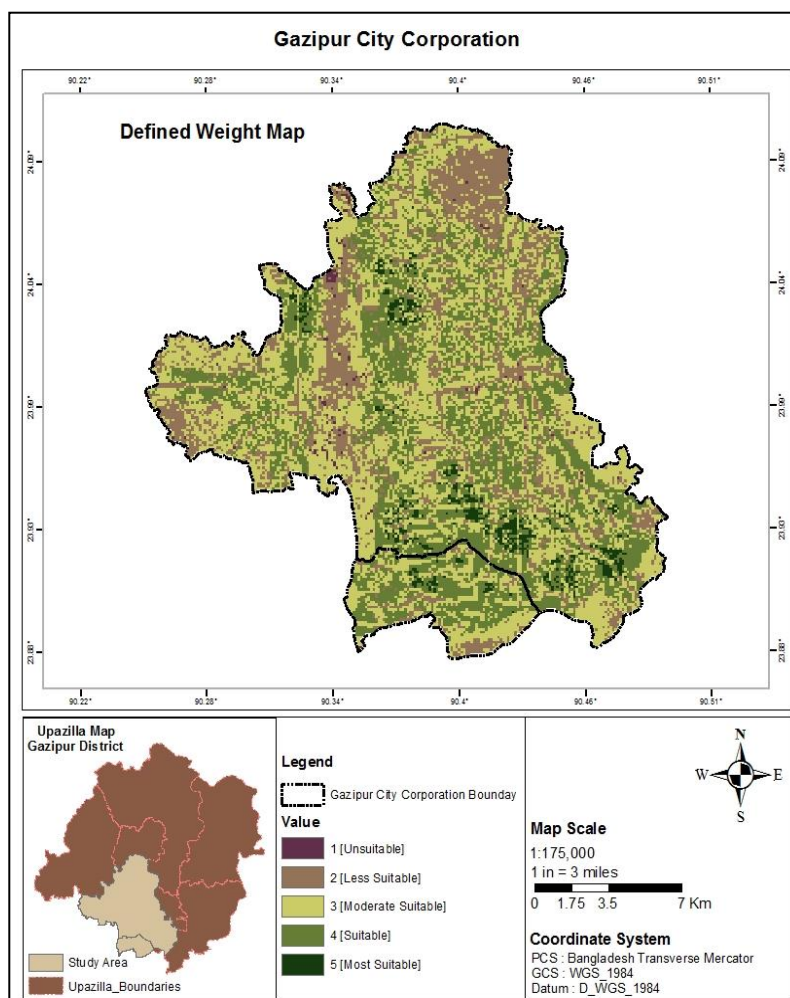


Fig. 5. Defined weight map

In GCC area, existing landfill site is clearly unsuitable with respect to public health, hygiene, noise, dust and odor. The overall dump site suitability selection showed five dump site suitability classes, viz. unsuitable (restricted), less suitable, moderately suitable, suitable and highly suitable. Bare-land, water body, built-up areas and forest lands were used for dump site selection processes due to their land-use land-cover effect and values. Bare land in the study area was identified as the best option for solid waste dump sites. Areas with slope $>15^\circ$ were excluded as they were unsuitable and areas with slope $0-3^\circ$ were found to be the suitable for dump sites. Areas within 700 m radius were excluded to minimize public health effects. This restricted area included well points, river/streams, fault, road, built-up area in the first order, followed by permeable locations, faults, geology, areas with a steep slope ($>15^\circ$), built-up and forest and areas close to roads. Ground/surface water-related criteria are more influential than rest of the criteria as they need protection against leachate contamination from dump sites. By using the stated criteria, the suitable areas for solid waste dumping site fall on the eastern and southern west direction from the town (Figure 5). The selected site areas are significantly at the optimum distance from from major roads. The areas were most suitable for solid waste dumping site.

After eliminating the restricted land with the combination of environmentally sensitive, socially important and economically significant areas, only 537.5 ha. (6.4%) and 189.4 ha (2.2%) of the study area were identified as suitable and highly suitable,

respectively, for waste dump sites. Waste dump site in these areas is preferred because of the least effects that may cause on the environment and public. Most of the highly suitable landfill sites are situated in the northern part of the study area. The south-eastern part of Logia town having high elevation was excluded from the selection of dump site as it comprises the recharge area for low-lying regions of the town. Similarly, the south-west part of Logia is a potential source of groundwater for the town and its surroundings and hence excluded from the dump site. Therefore, a high suitable dump site should be identified most preferably from the northern part of GCC. The current open dump site was in an unsuitable site. It is placed surrounding the built-up area, roadsides, and nearby river. Considering the effect of solid waste on environment, health, economy and other aspects of human life, the suggested selected site can be accessed by road. It is evident that multi-criteria decision making with GIS integrated methods would be useful for environmental, human health and developmental issues and they should become statutory obligations for location of dump site selection in human dwellings.

4 CONCLUSION

The generation of solid waste has expanded extensively amid the ongoing past because of the rising worldwide population and rapid urbanization and its improper disposal and poor management in GCC. The goal of this study was to pursue proper selection process while avoiding environmental problems, and to suggest suitable site for landfill using GIS and multi-criteria decision-making techniques to facilitate shifting the present dumpsite to an alternative location. This site is easy to access for disposal of solid wastes. It is in the west, northern and east of the study area. There are highly suitable and suitable classes, which might be suitable from environmental, transportation and economic point of view. The use of AHP with GIS and remote sensing for identification of suitable solid waste dumping site will minimize environmental risk and human health problems. Further studies should be conducted to examine the feasibility of integration deposit refund system as a segment of the legislative initiative. Findings taken from this research are supposed to be an academic knowledge source for getting the better understanding which helps city policymakers and environmental managers to design and improve the solid waste management. Globally, this study also contributes the literature to lay the foundations for a successful solid waste management policy applying in the same geographical regions

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Dr. Ummeh Saika for supervise and Mohammad Ismail Hossain for editing support throughout this study.

REFERENCES

- [1] Mallick, J. Municipal solid waste landfill site selection based on fuzzy-ahp and geoinformation techniques in ASIR region Saudi Arabia. *Sustain.* vol.13, pp.1–33 2021.
- [2] Mussa, A.; Suryabagavan, K. V. Solid waste dumping site selection using GIS-based multi-criteria spatial modeling: a case study in Logia town, Afar region, Ethiopia. *Geol. Ecol. Landscapes*, pp1–13, 2019.
- [3] Salemi, M.; Hejazi, R. A GIS- Based suitability analysis for siting a solid waste in an urban area. *Doi.Org* vol.2, pp. 57–68, 2017.
- [4] Coban, A.; Ertis, I.F.; Cavdaroglu, N.A. Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. *J. Clean. Prod.* pp. 159–167, 2018.
- [5] Rezaei, M.; Ghobadian, B.; Samadi, S.H.; Karimi, S. Electric power generation from municipal solid waste: A techno-economical assessment under different scenarios in Iran. *Energy* pp. 46–56, 2018.
- [6] Hiremath, S.S. Population Growth and Solid Waste Disposal : a Burning Problem. *Indian Streams Res. J.* vol.6, 1–7, 2016.
- [7] Perrot, J.F.; Subiantoro, A. Municipal waste management strategy review and waste-to-energy potentials in New Zealand. *Sustain.* 2018.
- [8] Yıldırım, Ü.; Güler, C. Identification of suitable future municipal solid waste disposal sites for the Metropolitan Mersin (SE Turkey) using AHP and GIS techniques. *Environ. Earth Sci.* vol.75, pp.1–16, 2016.
- [9] Sustainability, E. *Integrated Waste Management in India*; 2016; ISBN 978-3-319-27226-9..
- [10] T, B.; Tajdari, P.; Manjunatha, M.C.; Balasubramanian, A. Application of Remote Sensing and GIS on Waste Disposal Site Selection and Environmental Impact Assessment around Mysore City, Karnataka, India. *Int. J. Earth Sci. Eng.* vol. 06, pp. 1801–1808, 2013.
- [11] AKTHER, A.; AHAMED, T.; TAKIGAWA, T.; NOGUCHI, R. GIS-based Multi-criteria Analysis for Urban Waste Management. *J. Japan Inst. Energy*, vol.95, pp.457–467, 2016.
- [12] CARE Bangladesh Urban Socio-Economic and Vulnerability Study of Gazipur City Corporation (GCC), pp. 1–50. 2014,.

- [13] Wang, L. Analyzing Urban Sprawl and Sustainable Development in Dhaka, Bangladesh. *J. Econ. Sustain. Dev*, vol.11, pp.9–20, 2020.
- [14] Purvis, A.; Gittleman, J.L.; Cowlishaw, G.; Mace, G.M.; Hansen, M.C.; Stehman, S. V.; Potapov, P. V.; Loveland, T.R.; Townshend, J.R.G.; DeFries, R.S.; et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2012.
- [15] Analytic hierarchy process. In *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*; 2013 ISBN 9781118644898..
- [16] Zabihi, H.; Alizadeh, M.; Langat, P.K.; Karami, M.; Shahabi, H.; Ahmad, A.; Said, M.N.; Lee, S. GIS multi-criteria analysis by orderedweighted averaging (OWA): Toward an integrated citrus management strategy. *Sustain.* 2019.
- [17] Saaty, T.L. The analytic hierarchy process: a 1993 overview. *Cent. Eur. J. Oper. Res. Econ.* 1993.
- [18] Nordström, E.-M.; Eriksson, L.O.; Öhman, K. Integrating multiple criteria decision analysis in participatory forest planning. *For. Ecol. Manage.* 2010.
- [19] Saaty, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.* 1977.

Végétation et changement climatique au cours de la transition Crétacé, Paléogène (K, Pg) d'une séquence d'argiles grises de la région d'Eboinda (Sud-Est de la Côte d'Ivoire): Implication palynologique

[Vegetation and climate change during the Cretaceous, Paleogene transition (K, Pg) of a sequence of gray clays in Eboinda region (South-eastern Côte d'Ivoire): Palynological implication]

Kahou Katel Kizito Toe-Bi¹, Gnosseith Huberson Claver N'Doufou¹, Koré Elysée Guede², and Zéli Bruno Digbeh³

¹Département Géosciences, Université Péléforo Gon Coulibaly, UFR des Sciences Biologiques, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Département des Mines et Réservoirs, Université de Man, UFR des Sciences Géologiques et Minières, BP 20 Man, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM),
Université Félix Houphouët Boigny Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The gray clays of the Eboinda region consist of sub-rounded, fine to medium and translucent grains. A few black nodules 1 to 2 cm, sub-rounded, give off a hydrogen sulfide odor. They are strongly impregnated with bitumen. This unit yielded a rich assemblage of spores and pollen to the Cretaceous/Paleogene transition (K/Pg) namely, *Longapertites marginatus*, *Mauritiidites crassibaculatus*, *Proxapertites cursus*, *Proxapertites operculatus*, *Longapertites proxapertitoides*, *Deltoidospora minor*, *Cyathidites minor*, *Zlivisporites blanensis*, *Retistephanocolpites williamsi*, *Spinizonocolpites baculatus*. Mangrove-type paleovegetation developed in Upper Maastrichtian and in Danien. From the paleoclimatic point of view, the development of pollen mainly palms belonging to the family of *Aceraceae* suggests tropical and humid climatic conditions, which alternate with a warm and dry climate (development of *Ephedripites* sp.) in the Upper Maastrichtian. The presence of some species of the *Cytheaceae* and *Arecaceae* family would indicate a tropical and humid climate in Danien. But the complete disappearance of the *Proteaceae* and *Ephedraceae*, indicates a cold climate at the Cretaceous-Paleogene limit.

KEYWORDS: Eboinda region, paleovegetation, paleoclimatic, Upper Maastrichtian, Danien, K/Pg transition.

RESUME: Les argiles grises de la région d'Eboinda se composent de grains subarrondis, fins à moyens et parfois grossiers et translucides. Quelques nodules noirs de 1 à 2 cm, subarrondis dégagent une odeur de sulfure d'hydrogène. Elles sont fortement imprégnées de bitume. Cette unité a livré un riche assemblage de spores et de pollen à la transition Crétacé/Paléogène (K/Pg) (*Longapertites marginatus*, *Mauritiidites crassibaculatus*, *Proxapertites cursus*, *Proxapertites operculatus*, *Longapertites proxapertitoides*, *Deltoidospora minor*, *Cyathidites minor*, *Zlivisporites blanensis*, *Retistephanocolpites williamsi*, *Spinizonocolpites baculatus*). Une paléovégétation de type mangrove s'est développée au Maastrichtien supérieur et au Danien. Du point de vue paléoclimatique, le développement des pollens concernant les palmiers appartenant à la famille des *Acéracées* suggère, des conditions climatiques tropicales et humides, qui alternent avec un climat chaud et sec (développement du pollen *Ephedripites* sp) au Maastrichtien supérieur. La présence de certaines espèces de la famille des *Cythéacées* et des *Arecacées* indiquerait un climat tropical et humide au Danien. Mais la disparition complète des *Proteacées* et *Ephédracées*, signale un climat froid à la limite Crétacé-Paléogène.

MOTS-CLEFS: Région d'Eboinda paléovégétation, paléoclimat, Maastrichtien supérieur, Danien, transition K/Pg.

1 INTRODUCTION

La palynologie est utilisée en biostratigraphie où elle joue un rôle assez important dans la détermination des âges géologiques, la compréhension du modèle d'empilement des séquences, les changements paléoclimatiques [1; 2] et la reconstruction paléoenvironnementale [3; 4]. Les travaux palynologiques antérieurs entrepris dans la région d'Eboinda, principalement dans la zone d'étude ont fourni des résultats controversés au sujet de l'âge des dépôts de la séquence d'argiles grises. Ainsi les travaux palynologiques de [5] ont permis de distinguer dans les argiles grises un Maastrichtien remanié c'est-à-dire un mélange de palynomorphes du Maastrichtien et du Danien. En revanche, les travaux récents (accepté sous presse) de [6] dans le secteur d'Eboinda, ont mis en évidence une transition Crétacé/Paléogène (K/Pg) avec un Maastrichtien franc suivi du Danien formellement identifié. Le Maastrichtien supérieur (intervalle 7-10m) a été observé à partir d'événements marqueurs de dinoflagellés, notamment les LADs (dernières apparitions) de *Dinogymnium muticum* et de *Cerodinium granulostriatum*. Quant au Danien (intervalle 5-7m), il est déterminé grâce à la disparition de *Cerodinium diebelii*, ainsi que la présence de l'espèce *Danea californica*. En marge des dinoflagellés, nous observons des palynoflores bien conservées dans les argiles grises de la région d'Eboinda. Le but de cet article est de décrire la palynoflore observée dans les argiles grises de la région d'Eboinda, proposer sa reconstitution paléobotanique et enfin établir les conditions paléoclimatiques qui ont prévalu lors du dépôt de cette unité au cours de la transition K/Pg.

2 CADRE GEOLOGIQUE DU BASSIN SEDIMENTAIRE ET PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La géologie de la Côte d'Ivoire se caractérise par un socle cristallin d'âge précambrien qui couvre 97,5 % du territoire et recouvert en discordance par un bassin sédimentaire plus récent (secondaire et tertiaire) (2,5% du territoire). Le bassin sédimentaire se développe le long de la côte Ouest atlantique depuis le Libéria (Sassandra) jusqu'au Ghana. C'est un bassin de type « ouvert » et pent vers le Sud. L'histoire du bassin se caractérise par deux domaines distincts: a) bassin onshore en forme de croissant, affecté par une faille appelée « Faille des lagunes » qui longe la côte d'Ouest en Est; b) une partie marine (offshore). L'histoire géologique du bassin de Côte d'Ivoire se résume en quatre étapes principales: a) une phase rift; b) une phase de début d'expansion océanique; c) une phase d'expansion active et de subsidence; d) une phase d'expansion maximale. La zone d'étude qui fait l'objet du présent travail se trouve à Eboinda. Cette zone est située dans la partie onshore du bassin sédimentaire. Elle est à environ 175 km d'Abidjan et à proximité de la frontière du Ghana. Cette zone est localisée entre les latitudes 5°15' et 5°30' Nord et les longitudes 3°00' et 3°15' Ouest (Fig.1). Elle se trouve sur le rivage Nord-Est de la lagune Tendo.

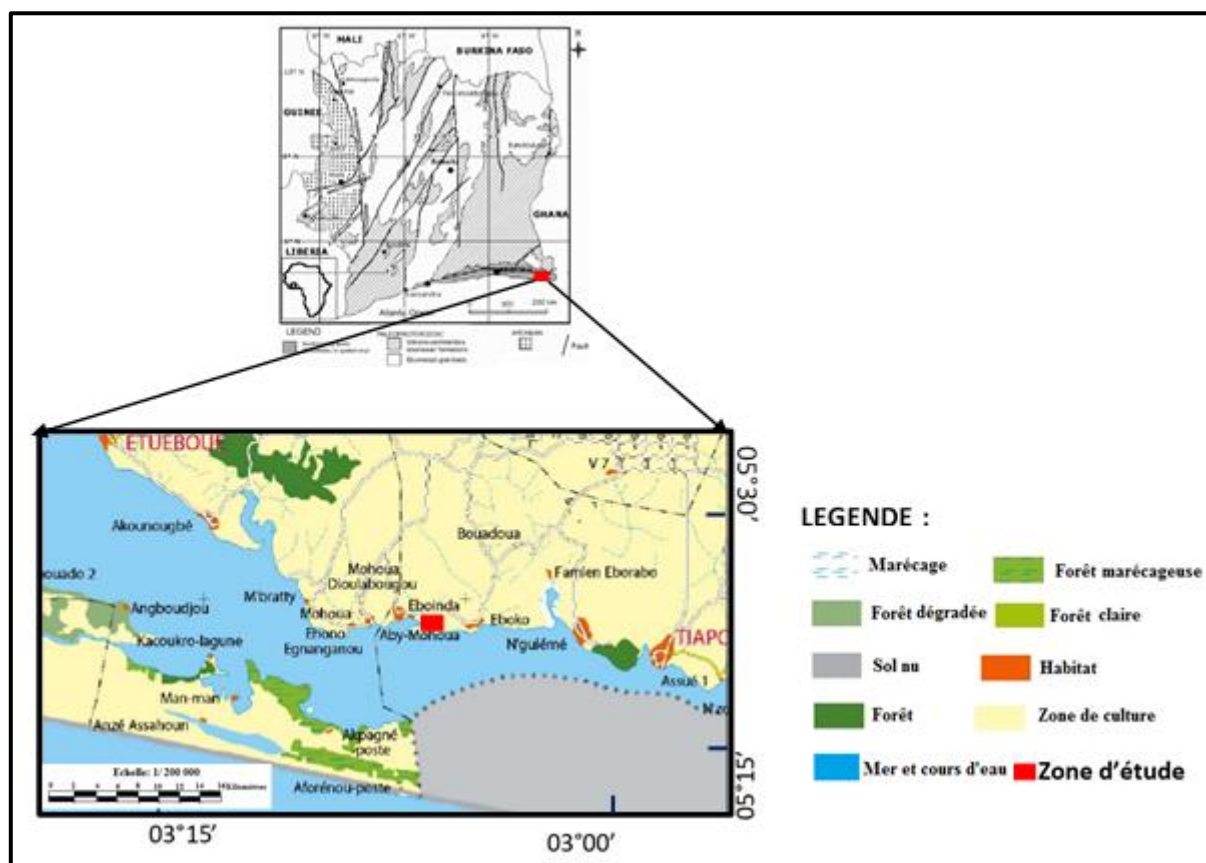


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude (P1)

3 MATERIEL ET METHODES

Dix échantillons d'une séquence d'argiles grises ont été soigneusement prélevés dans l'intervalle 5-10 m du puits P1 (Fig.2). Ces échantillons ont été traités pour une analyse palynologique en utilisant les méthodes classiques aux acides. Ceux-ci ont permis de concentrer et de récupérer les microfossiles organiques insolubles. Environ 20 g de chaque échantillon ont été traités à froid avec l'acide chlorhydrique (HCl) 37 % pour éliminer les carbonates, les nitrates et une bonne partie des roches salines pendant 3 heures et 30 minutes. Ensuite les silicates dans les échantillons ont été éliminés par traitement à chaud avec de l'acide fluorhydrique (HF) 70 % durant 15 heures. La dernière attaque à l'acide chlorhydrique à 37 % à chaud a permis la dissolution des fluosilicates et les fluorures formés lors des attaques précédentes. Elle dure une heure. Après lavage, les palynomorphes sont récupérés et montés entre lame et lamelle en utilisant le baume de Canada comme support de montage. L'identification et le comptage ont été effectués à l'aide d'un microscope optique à lumière transmise de marque BestScops. La détermination taxonomique et la datation des spores et grains de pollen sont appuyés sur les classifications morphographiques de [7] et de [8]. L'analyse paléobotanique se base sur l'importance écologique et sur les différentes affinités botaniques des sporomorphes (Tableau 1).

Tableau 1. Les affinités botaniques des spores et grains de pollens et sélectionnés reconnus dans cette étude

Especes Fossiles	Affinités botaniques
Pteridophytes	
1. <i>Laevigatosporites ovatus</i>	Filicopsida; Askin, 1990b; Hygrophytic Wang et al. (2005)
2. <i>Deltoidospora minor</i>	Cyatheaceae; (Couper, 1958; Macphail, 1999); Marécages (Saland-Cheboldaeff, 1977)
3. <i>Cyathidites minor</i>	Cyatheaceae, (Couper, 1958; Macphail, 1999)/ Fougère
4. <i>Cicatricosisporites dorogensis</i>	Schizaeaceae; Soronnandi-Ononiwu et al., 2014
5. <i>Leiotriletes adriensis</i>	Cyatheaceae (Kruttsch and Vanhoorne, 1977)
6. <i>Zlavisporites blanensis</i>	Similar to <i>Oxymitra paleacea</i> , Hepaticae (sources in Schrank, 1994)
7. <i>Foveotriletes margaritea</i>	Lycopsida; Van der H. & Potonié 1956
Angiospermes	
8. <i>Mauritiidites crassibaculatus</i>	Arecaceae; van Hoeken-Klinkenberg, 1966
9. <i>Retimonocolpites sp.</i>	Palmae; Lorente 1986
10. <i>Proxapertites operculatus</i>	Palmae, coastal plain (Jaramillo and Dilcher, 2001)
11. <i>Longapertites vanenderburgi</i>	Arecaceae/Probably Palmae (Germeraad et al., 1968; Adegoke et al., 1978)
12. <i>Longapertites marginatus</i>	Arecaceae/Probably Palmae (Germeraad et al., 1968; Adegoke et al., 1978)
13. <i>Scabratiopores annulus</i>	Magnoliophyta; Van der H. 1956
14. <i>Longapertites proxapertitoides</i>	Arecaceae; Thanikaimoni et al., 1984
15. <i>Monocolpopollenites sp.</i>	Palmae or Cycadales (Nichols et al., 1973)
16. <i>Spinizonocolpites baculatus</i>	<i>Nypa</i> (Arecaceae); Germerad et al., 1968
17. <i>Proteacidites dehaani</i>	Proteaceae Cookson & Couper 1953
18. <i>Psilatricolpites sp.</i>	Magnoliophyta (Fagaceae), Van der H. & Wijnstra 1964
19. <i>Tricolpites americana</i>	Magnoliopsida; Potonié 1960
20. <i>Longapertites inornatus</i>	Arecaceae/Probably Palmae (Germeraad et al., 1968; Adegoke et al., 1978)
21. <i>Retistephanocolpites williamsi</i>	Ctenolophonaceae, broad-leaved evergreen tropical trees (Ütescher and Mosbruger, 2007)
22. <i>Clavainaperturites cf clavatus</i>	Chlorantaceae, Van der Hammen et Wijnstra 1964
23. <i>Margocolporites rauvolfii</i>	Apocynaceae; Boudouresque; 1980
24. <i>Monosulcites sp.</i>	Arecaceae (Couper, 1953)
25. <i>Periretisyncolpites giganteus</i>	Magnoliopsida; Cronquist et coll. 1996
Gymnospermes	
26. <i>Ephedripites sp.</i>	Ephedraceae (Frederiksen, 1985)
27. <i>Inaperturopollenites sp.</i>	Cupressales, Pinidae; (Digbehi et al., 1996)
Lycopodiophytes	
28. <i>Camaronosporites ambigens</i>	Lycopodiaceae/Selaginellaceae; Volkheimer et al., 2007 (source of natural affinity interpretation uncited)
Alges	
29. <i>Pteropermopsis danica</i>	Champignons d'eaux douce et saumâtre (Ola-Buraimo et al., 2012); Hygrophytic Wang et al. (2005)

4 RESULTATS

4.1 CARACTERISATION LITHOLOGIQUE

La colonne lithostratigraphique du puits P1 montre quatre lithofaciés dans le sens du forage. Mais nous nous intéressons seulement qu'à la première lithofaciés à savoir, U1 (Fig.2). Cette unité est constituée d'argile grise à noire, tendre, légèrement silteuse et glauconieuse à rares passées de grès friables à grains subarrondis, fins à moyens et parfois grossiers et translucides. Quelques nodules noirs de 1 à 2 cm, subarrondis dégagent une odeur de sulfure d'hydrogène. La pyrite et des moules de gastéropodes (tels que les genres

Turritella et *Pleurotomaria*) sont présents. L'unité est fortement imprégnée de bitume se présentant sous deux aspects (un aspect pâteux tendre à friable et un aspect consolidé ou solidifié).

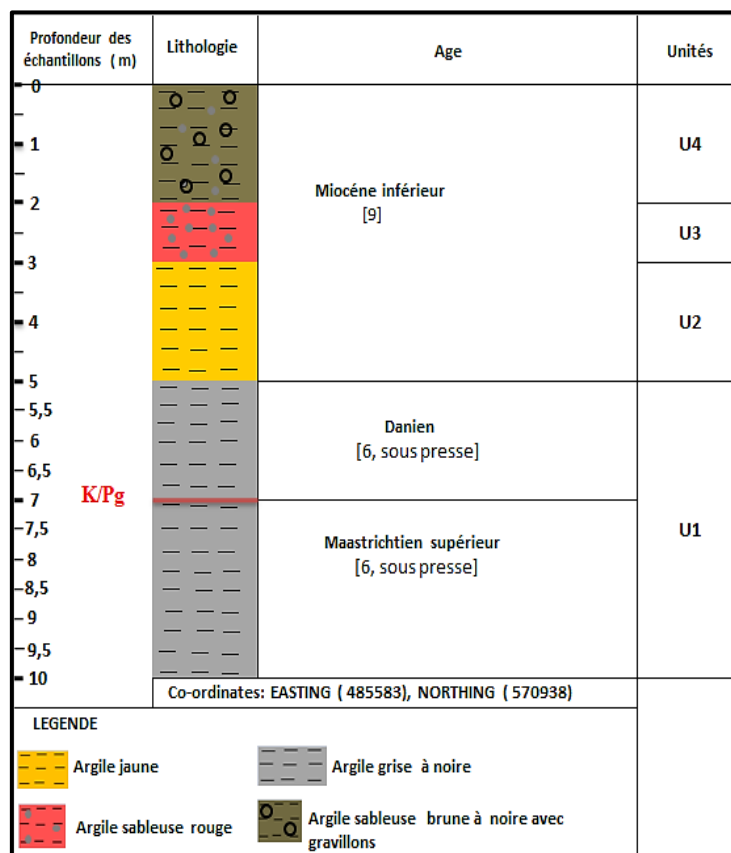


Fig. 2. Litho-stratigraphie du puits P1 [6,9 modifié]

4.2 CARACTERISATION PALYNOLOGIQUE

4.2.1 ANALYSE QUANTITATIVE

Les échantillons étudiés, ont révélé des palynomorphes assez bien conservés (annexe 1). Trente espèces de spores et de grains de pollen ont été enregistrées (Tableau.2). Au Maastrichtien supérieur, l'assemblage comprend des angiospermes (65,67 %), des pteridophytes (28,17 %), des gymnospermes (2,61 %), des Lycopodiophytes (1,68 %), des formes d'algues (1,31 %), ainsi que des formes indéterminées (0,56%) (Fig.3). Par contre au Danien nous enregistrons 57,5 % d'angiospermes, 31,25 % de pteridophytes, 5 % de gymnospermes, 3,75 % de formes d'algues, ainsi que 2,5% des formes indéterminées (Fig.4). Les groupes les plus importants sont: les Acéraceae (45 à 47,94 %), les Cyatheaceae (23,5 à 17,16 %) et les Palmae (10 à 10,45 %) (Fig.5 et 6).

Tableau 2. Répartition verticale des spores et grains de pollen répertoriés dans l'intervalle (6-10m) du puits P1 étudié

Age																																						
Maastrichtien supérieur	K/Pg	Danien	Profondeur																																			
			1. <i>Laevigatosporites ovatus</i>	2. <i>Deltoideospora minor</i>	3. <i>Mauritiidites crassibaculatus</i>	4. <i>Inaperturopollenites</i> sp.	5. <i>Monocolpopollenites</i> sp.	6. <i>Longapertites marginatus</i>	7. <i>Retimonocolpites</i> sp.	8. <i>Proxapertites operculatus</i>	9. <i>Leiosporites ardensis</i>	10. <i>Cyathidites minor</i>	11. <i>Cicatricosisporites dorogensis</i>	12. <i>Longapertites vanenderburgi</i>	13. <i>Scabratisporites annulus</i>	14. <i>Proxapertites curvus</i>	15. <i>Longapertites proxapertitoides</i>	16. <i>Zlivisporites blansensis</i>	17. <i>Peritetrinocolpites gigantens</i>	18. <i>Foveotrilletes margaritea</i>	19. <i>Leiotrilletes adriensis</i>	20. <i>Spinizonocolpites baculatus</i>	21. <i>Tricolpites americana</i>	22. <i>Monosulcites</i> sp.	23. <i>Camarozonosporites ambigens</i>	24. <i>Longapertites inornatus</i>	25. <i>Retistephanocolpites williamsi</i>	26. <i>Clavinaaperturites cf. clavatus</i>	27. <i>Proteacidites dehaani</i>	28. <i>Psilatricolpites</i> sp.	29. <i>Ephedripites</i> sp.	30. <i>Margocolpites rauwolfii</i>	31. <i>Pollen indéterminé 1</i>	32. <i>Spore indéterminée 1</i>	33. <i>Pteropernopsis danica</i>	Total		
			5m-5,5m	3	3	1	1	1	1																												10	
			5,5m-6m	2	2	1	3	1	1	1																											1	12
			6m-6,5m		7			1	8		2	1	1	1	1	1																					2	27
			6,5m-7m		5	5			7								2	11		1																	31	
			7m-7,5m	7		1	4	2	8					2				18	6	3	3	1	3	2							1		1			3	65	
			7,5m-8m		13	13		1	21		1	1		2			4	4	1		1						1	1				1		2			1	68
			8m-8,5m	6	2	4	8		5				1				3	3	3	1		1			2						1							40
			8,5m-9m	2	34	11			55	10	2		3				5	12	1		10				2	3				4		1	1			1	1	2
9m-9,5m	2		5			18	3		2			4		15		1	25					2	2			1										80		
9m-10m		32	20			41	2		2					7	6	5		4	1			1	3				2			1	1				2	130		

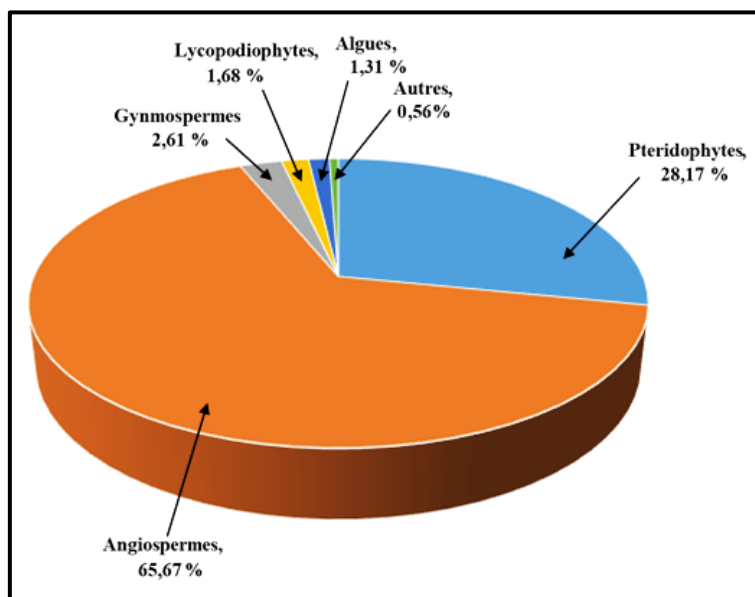


Fig. 3. Diagramme circulaire représentant les pourcentages des différents groupes taxonomiques identifiés au Maastrichtien supérieur

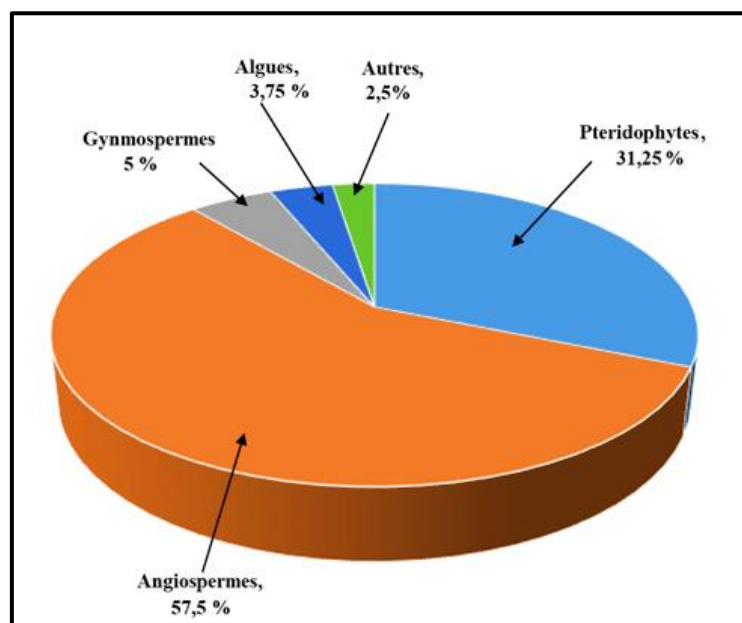


Fig. 4. Diagramme circulaire représentant les pourcentages des différents groupes taxonomiques identifiés au Danien

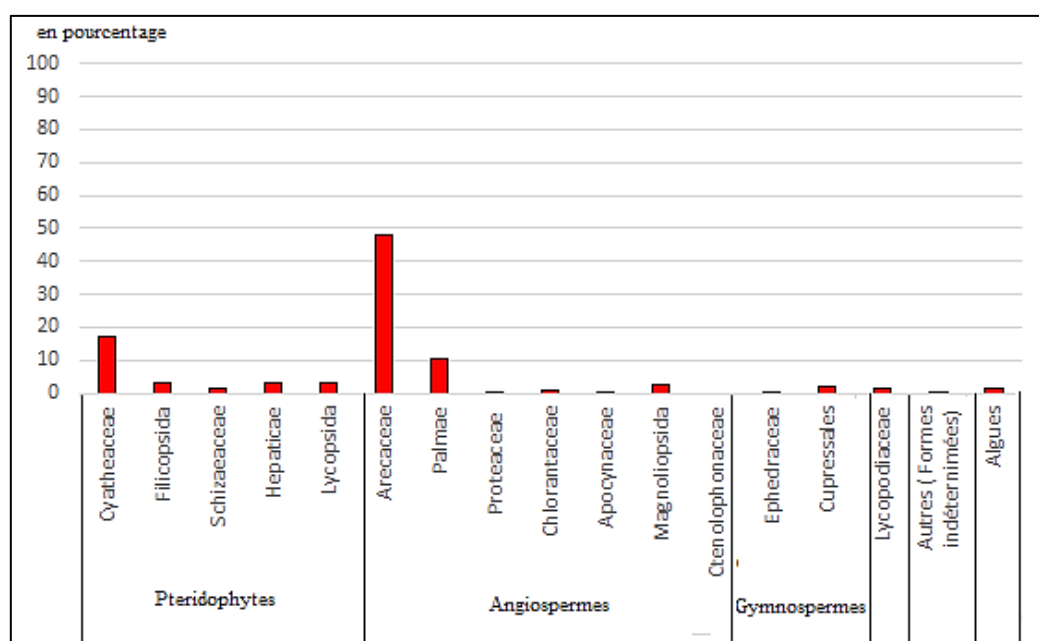


Fig. 5. Histogramme représentant les différentes affinités botaniques des palynomorphes identifiés au Maastrichtien supérieur

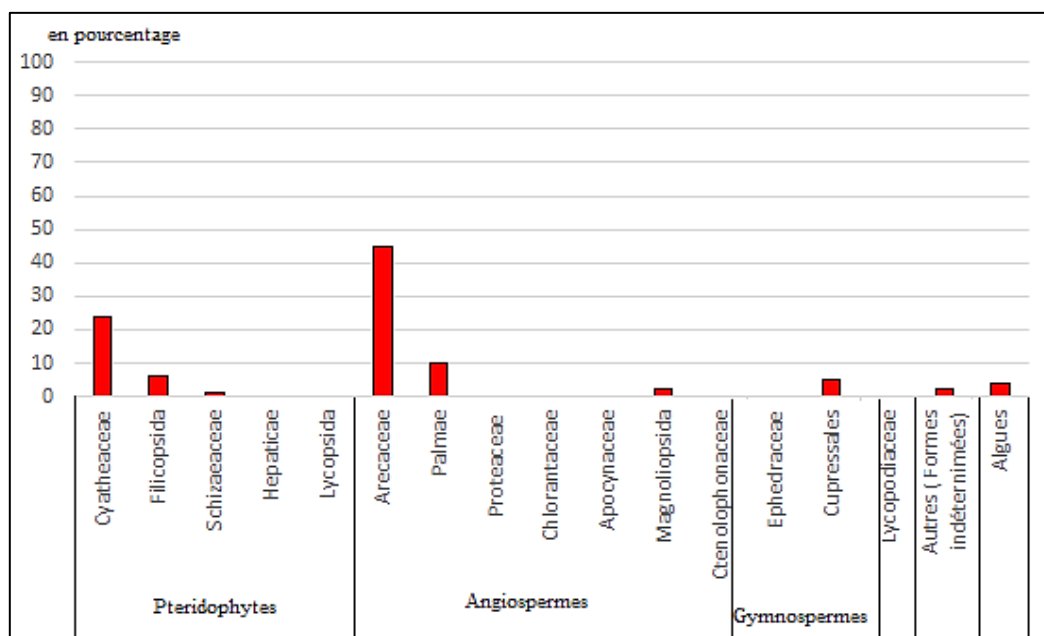


Fig. 6. Histogramme représentant les différentes affinités botaniques des palynomorphes identifiés au Danien

4.2.2 EVOLUTION DES TAXONS BOTANQUES ET PALEOVEGETATION

4.2.2.1 MAASTRICHTIEN SUPERIEUR

L'analyse du matériel palynologique observée au Maastrichtien supérieur indique une diversité de taxons botaniques. Les angiospermes sont plus abondants, principalement les Arecaceae (*Longapertites marginatus*, *Mauritiidites crassibaculatus*, *Proxapertites cursus*, *Proxapertites operculatus*, *Longapertites proxapertitoides*). Ces taxons sont depuis longtemps considérés comme des éléments de l'environnement de mangrove. A ces pollens des angiospermes s'ajoutent ceux de la famille des ptéridophytes (Cyathéacées) moins abondants (*Deltoidospora minor*, *Cyathidites minor*). Les Cyathéacées sont des spores issues des champignons d'eau douce et fondamentalement hygrophiles et appartiennent au groupe de fougères. Elles suggèrent une aire marécageuse. Aussi, ces travaux ont montré la présence des grains de pollen de la famille Hepaticae (*Zlivisporites blanensis*) et de la famille Ctenolophonaceae (*Retistephanoalpites williamsi*), typiques du Crétacé supérieur. En effet, l'évolution des *Zlivisporites blanensis* qui sont les ancêtres des palmiers, est liée à l'évolution des écosystèmes marécageux. Quant à la présence de l'espèce *Retistephanoalpites williamsi* dans cet étage, il est attribué à la famille Ctenolophonaceae. IL occupe des sables alluviaux dans les forêts marécageuses. Dans la végétation récente, le Ctenolophonaceae représente les arbres vivants dans un environnement marécageux et le long des rivages. A noter aussi la présence d'*Ephedripites sp.*, qui serait colonisatrice des zones côtières sablonneuses. La forte abondance de *Longapertites marginatus*, et de *Spinizonocolpites baculatus*, aux côtés des co-occurrences des spores pteridophytes, des algues d'eau douce (*Pteropermopsis danica*) est probablement indicatif d'un environnement de mangrove à faible salinité. L'augmentation de proportion des *longapertites marginatus* est un signe annonciateur du passage Crétacé-Paléogène. Cette augmentation systématique des *longapertites marginatus* pourrait être due à des facteurs environnementaux favorables au cours du Maastrichtien. Cette condition favorable a conduit à l'essor de cette forme sans doute à la suite de l'incursion marine (transgression). En somme au Maastrichtien supérieur, la zone étudiée était couverte par une forêt dense de type mangrove.

4.2.2.2 PALEOCENE INFÉRIEUR (DANIEN)

Les rares représentants de la flore maastrichtienne au Danien sont issus des Lycopsida (*Foveotrilletes margaritae*), les Cythéacées (*Deltoidospora minor*), les Arecacées (*Longapertites marginatus* et *Mauritiidites crassibaculatus*). En effet le grand ensemble de taxons botaniques cité plus haut, est révélateur d'un environnement de mangrove comme signalé au Maastrichtien supérieur. La présence des espèces *Pteropermopsis danica*, indique un environnement d'eau saumâtre. Globalement, l'assemblage pollinique identifiable du Danien reflète un environnement de mangrove assorti d'une forêt humide en partie marécageuse, se situant dans un milieu côtier.

4.2.3 EVOLUTION DES PALEOCLIMATS

La très forte abondance des grains de pollen de la famille des Acéracées en occurrences (*Longapertites marginatus*, *Longapertites proxapertitoïdes*, *Longapertites vanenderburgi*, *Longapertites inornatus*) suggère, la prévalence de conditions climatiques tropicale et humide dans l'environnement de dépôt des sédiments analysés. Cette hypothèse est confirmée par l'abondance des grains de pollen (*Mauritiidites crassibaculatus*, *Spinizonocolpites baculatus*, *Proxapertites cursus* et *Proxapertites operculatus*) qui sont indicateurs de climats chaud et humide. Les spores de ptéridophytes (*Deltoidospora minor*, *Cyathidites minor* et *Foveotriletes margaritae*) en quantité importante, indiquent également une microflore tropicale, tandis que la bonne représentation des champignons (*Pteropermopsis danica*) suggère des conditions chaude et humide avec une grande précipitation. Ses conditions tropicales sont attestées par la présence des taxons *Zlivisporis blanensis* et *Retistephanocolpites williamsi* au Maastrichtien. Un climat chaud et sec est indiqué par le développement du grain de pollen *Ephedripites sp* dans le Maastrichtien. Ce résultat montre bien une période tropicale et humide qui alterne avec une période sèche au maastrichtien supérieur. La présence de quelques représentants de la microflore maastrichtienne au Danien (*Foveotriletes margarita*, *Deltoidospora minor*, *Longapertites marginatus*, *Mauritiidites crassibaculatus*,) indiquerait un climat tropical et humide. Mais la disparition complète des Protéacées (*Proteacidites*), et des Ephédracées, suggère plutôt un climat froid à la limite Crétacé-Tertiaire.

5 DISCUSSION

5.1 PALEOVEGETATION

L'abondance relative des grains de pollen d'Angiospermes, qui sont les ancêtres des palmiers a été déjà signalée par plusieurs auteurs dans leurs travaux [10; 11; 12]. IL s'agit de *Longapertites marginatus*, *Echitriporites trianguliformis*, *Zlivisporites blanensis*, *Scabratiporites simpliformis*, et *Mauritiidites lehmani*. Ces espèces sont considérées comme issues de végétation de mangrove [13; 14, 15; 16; 17; 18, 19, 20; 21, 22]. En effet, l'augmentation des populations de *Longapertites marginatus* au Maastrichtien supérieur, a été définie comme un signe annonciateur du passage du Crétacé au Paléogène [23, 24]. Cette augmentation serait dû aux conditions favorable de l'environnement à la suite de transgression marine [24]. L'ensemble des Protéacées (*Proteacidites dehaani*, *Scabratiporites annulus*) observé dans le Maastrichtien supérieur, selon [18] évoquerait une forêt de plaine côtière ou un environnement alluvial [25]. Le genre *Nypa* représenté par une espèce existante (*Spinizonocolpites baculatus*), au Maastrichtien supérieur est un palmier des mangroves [25]. (20) en outre suggère que les grains de pollen du genre *Nypa* peuvent être transportés sur de longues distances vers la mer à partir de la mangrove. En outre, les espèces (*Verrucatosporites usmensis*, *Laevigatosporites ovatus*, *Polypodiaceosporites simplex*, *Pachydermites diédérxii*, *leiotriletes adriensis*, *Deltoidospora minor*, *Cyathidites minor*) décrites ici sont typiques d'une aire marécageuse [27, 25; 18; 28, 29, 30; 31; 32, 33; 34]. Dans la végétation actuelle, l'espèce *Retistephanocolpites williamsi*, (Ctenolophonaceae) représente les arbres de forêts marécageuses et le long des rives [35; 36, 15; 11; 28]. Tout ceci est corroboré par la présence dans nos travaux de champignons d'eaux douce et saumâtre (*Pteropermopsis danica*) selon [37].

5.2 PALEOCLIMAT

La majorité des familles représentées dans les sédiments analysés (Lycopsida, Cythéacées, Arecacées, Polypodiaceae, Ctenolophonaceae) suggère un climat tropical et humide du Maastrichtien supérieur. Cela est soutenu par de nombreux auteurs tels que [12; 20; 27; 28; 38; 14, 15; 16; 17; 39, 40; 41, 29, 42, 26, 43; 44; 45, 46, 47; 33; 34]. Ces conditions climatiques tropicales sont attestées par la présence de *Zlivisporis blanensis* [20] et *Retistephanocolpites williamsi* [29] qui prévalait au cours du Maastrichtien supérieur et Danien.

6 CONCLUSION

L'examen palynologique des argiles grises de la région d'Ebionda a permis de relever un assemblage de miospores généralement riches et diversifiés. La palynoflore observée comprend *Longapertites marginatus*, *Mauritiidites crassibaculatus*, *Proxapertites cursus*, *Proxapertites operculatus*, *Longapertites proxapertitoids*, *Deltoidospora minor*, *Cyathidites minor*, *Zlivisporites blanensis*, *Retistephanocolpites williamsi*, *Spinizonocolpites baculatus*. La richesse en espèces suggère une paléovégétation de mangrove au Maastrichtien supérieur et au Danien. Au Maastrichtien supérieur, le développement de la famille des Acéracées et de l'espèce *Ephedripites sp* indique des conditions climatiques tropicales et humides, qui alternent avec un climat chaud et sec. Par contre au Danien, le paléoclimat est tropical et humide. La disparition des Protéacées et Ephédracées à la limite Crétacé-Paléogène, suggère une période de froid.

REMERCIEMENTS

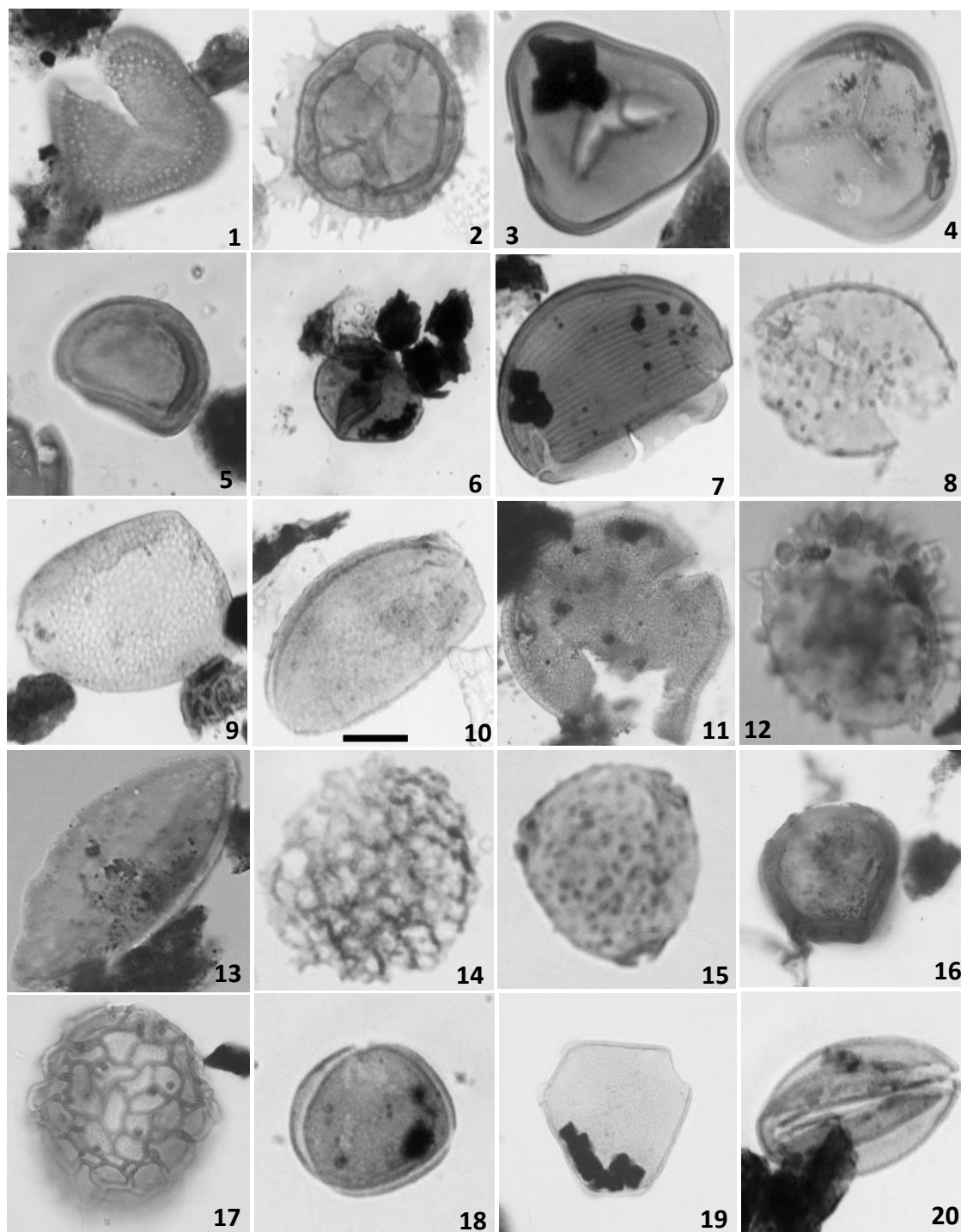
Les auteurs souhaiteraient adresser leur infinie reconnaissance aux responsables de la Direction de la SODEMI (Société pour le Développement Minier de la Côte d'Ivoire) qui nous ont autorisés à prendre une part active aux différentes missions de forages, nous permettant ainsi de réaliser les prélèvements d'échantillons utilisés dans ce travail. Aussi les auteurs aimeraient remercier les responsables du Centre d'Analyse et de Recherche (C.A.R) de la PETROCI pour la confection des lames palynologiques. Enfin nos remerciements vont à l'endroit des responsables du laboratoire des Géosciences marines de l'UFR STRM (Université Felix Houphouët Boigny) qui nous ont offert un cadre propice pour la réalisation de nos travaux de recherches.

REFERENCES

- [1] Morley, R.J., (1995). Biostratigraphic characterization of systems tracts in Tertiary sedimentary basins. Indonesian Petroleum Association, Proceedings of the International Symposium on sequence stratigraphy in SE Asia, p. 49-71.
- [2] Ola-Buraimo, A.O., and Akaegbobi, I.M., (2013a): Palynology, an important tool in evaluating sea level changes, paleoenvironment and paleoclimatic conditions in geologic time. International Journal of Engineering Research and Technology, vol. 2, issue 3, p. 1-29.
- [3] Ayinla, H.A., Ola-Buraimo A.O., Adeigbe, O.C., Bankole, S.A., and Adebawale, M., (2013): Biostratigraphy and high resolution paleoenvironmental reconstruction of part of Kemar-1 well, Bornu Basin, northeastern Nigeria. Journal of Research in Environmental Science and Toxicology, vol. 2(3), p. 53-63.
- [4] Adeigbe O.C., Ola-Buraimo A.O., and Moronhunkola, A.O., (2013): Palynological characterization of the Tertiary offshore Emi-1 well, Dahomey Basin, southwestern Nigeria. International Journal of Scientific and Technology Research, vol.2, issue 1, p. 58-70.
- [5] Assalé FYP. Sedimentological, palynological, geochemical and palaeoenvironmental characterization of formations in the eastern onshore basin of Côte d'Ivoire. PhD thesis from Félix Houphouët Boigny University, Abidjan, Ivory Coast. 2013;361.
- [6] TOE-BI. K.K.K., GUEDE K.E., BEHI Z.D., BIE G.R., DIGBEHI Z.B. (accepté, sous presse). Investigation palynologique de la transition Crétacé/Paléogène (K/Pg) dans une séquence d'argiles grises de la région d'Eboinda (Sud-Est de la Côte d'Ivoire).
- [7] POTONIE R, Synopsys der Gattungen der Spores dispersae. VII Teil. Fortschr. Geol. Westf. 25 (1975) 23-151 p.
- [8] M. SALARD-CHEBOLDAEFF, Paléontologie du bassin sédimentaire littoral du Cameroun dans ses rapports avec la stratigraphie et la paléoécologie. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris .
- [9] TOE-BI K.K.K., Djeya K.L., Zoh D. A. B., N'goran J.P, Koré E.G. and Digbehi Z. B.(2021). Reconstruction of Paleocology of Early Miocene Subsurface Deposits from Microflora in the Eboinda Area (South-Eastern Côte d'Ivoire, West Africa). Journal of Geography, Environment and Earth Science International. 25(5): 57-66.
- [10] SCHRANK E. (1987). Palaeozoic and Mesozoic palynomorphs from northeast Africa (Egypt and Sudan) with special reference to Late Cretaceous pollen and dinoflagellates. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A), 75(1), 249-310.
- [11] EL BEIALY, S.Y. (1995). Campanian Maastrichtian palynomorphs from the Duwi (phosphate) formation of the Hamrawein and Umm El Hueitat Mines, Red Sea COAST, Egypt. Review of Paleobotany and Palynology 85, 303-317.
- [12] MAHMOUD M. S. & SCHRANK E. (2007). Late Cretaceous spores, pollen and dinoflagellates from two boreholes (Nuqra-1 and 3) in the Aswan area, Southeast Egypt. Revue de Paléobiologie, vol.26, no 2, pp. 593-613.
- [13] HERNGREEN, G.F.W. (1998). Cretaceous sporomorph provinces and events in the equatorial region. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie 1996 (11/12), 1313-32.
- [14] SCHRANK E. (1987). Palaeozoic and Mesozoic palynomorphs from northeast Africa (Egypt and Sudan) with special reference to Late Cretaceous pollen and dinoflagellates. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A), 75(1), 249-310.
- [15] SCHRANK E. (1994). Palynology of the Yeseomma Formation in northern Somalia: A study of pollen, spores and associated phytoplankton from the Late Cretaceous Palmae Province. Revue Palaeontographica, no231, pp. 63-112.
- [16] DIGBEHI Z.B., YAO K. R., TEA Y. J., BOBLAI G. (1996). Contribution à l'étude palynologique et paléoenvironnementale du Campanien et du Maastrichtien du bassin offshore de Côte d'Ivoire. Géologie Méditerranéenne, vol.23, n°2, pp. 155-171.
- [17] DIGBEHI Z. B., DOUKOURÉ M., TÉA Y. J., YAO K. R., YAO N. J-P., KANGAH K. D. & TAHI I. (2011). Palynostratigraphy and palaeoenvironmental characterization and evidence of Oligocene in the terrestrial sedimentary basin, Bingerville area, Southern Côte d'Ivoire, Northern Gulf of Guinea. African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 5(10). pp. 28-42.
- [18] GERMERAAD J. H., HOPPING C. A., MULLER J. (1968). Palynology of Tertiary sediment from tropical areas. Rev. Palaeobot. Palynol. vol. 6, pp. 189-348.
- [19] VAN DER KAARS. S, DAN. P., JOHN. T., JENNIE. F., RIEN. A. C. D., PAPAY. S. (2001). Late Quaternary palaeoecology, palynology and palaeolimnology of a tropical lowland swamp: Rwa Danau, West-Java, Indonesia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Elsevier, 171, pp 185-212.
- [20] ALI. E. et ECKART. S. (2008). Upper cretaceous to Neogene palynology of the melut basin, southeast sudan, Rev AAS Foundation palynology, vol 32 pp.1001-129.
- [21] SAMSON I. BANKOLE, ECKART SCHRANK AND BERND-D. ERDTMANN. (2007). Palynology of the Paleogene Oshosun Formation in the Dahomey Basin, southwestern Nigeria. Revista Española de Micropaleontología, 39 (1-2), pp. 29-44.

- [22] SALAMI, M. B. (1990). Palynomorph taxa from the "Lower Coal Measures" deposits (Campanian-Maastrichtian) of Anambra Trough, southeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences* 11, 135-150.
- [23] JARDINE S. & MAGLOIRE L. (1965). Palynologie et stratigraphie du crétacé des bassins du Sénégal et de Côte d'Ivoire. *Mém. Bur. Rech. Geol. et Min.*, vol.32, pp. 187-245.
- [24] OGALA. J. E, OLA-BURAIMO. A. O, AKAEGBOBI. I.M. (2009). Palynology and palaeoenvironment study of the middle-upper maastrichtien manu coal facies in Anambra basin, Nigeria, *world applied sciences journal*, vol(7), no 12. Pp 1566-1575.
- [25] RULL V. (1999). Sequence analysis of Western Venezuelan Cretaceous to Eocene sediments using palynology. *Chrono-palaeoenvironmental and palaeovegetational approaches Reply.Palynology*, no 23, pp. 35-36.
- [26] MORLEY, R.J. (2000). Origin and evolution of tropical rain forest. Chichester, John Wiley and Sons, 362 pp. .
- [27] SALARD – CHEBOLDAEFF M. (1977). Paléontologie du bassin sédimentaire littoral du Cameroun dans ses rapports avec la stratigraphie et la paléocéologie. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 262p.
- [28] ATTA D-PETERS & SALAMI M.B. (2004). Late Cretaceous to Early Tertiary pollen grains from offshore Tano basin, Southwestern Ghana. *Revista Española de Micropaleontología*, vol.36, n°3, pp. 451-465.
- [29] MBESSE C.O. (2014). La limite Paléocène–Éocène dans le Bassin de Douala (Cameroun). *Biostratigraphie et essai de reconstitution des paléoenvironnements*, Univ. Yaounde, 221p.
- [30] BERNARD. C. (2000). La matière organique sédimentaire en environnement de dépôt marginal. Exemple de la plaine deltaïque hypersaline du Ladinien de la bordure est du Massif central. *Géologie de la France*, n° 1, 2000, pp. 35-45.
- [31] DUPONT. L.M. AND AGWU. C.O.C. (1991). Environmental Control of Pollen Grain Distribution Patterns in the Gulf of Guinea and Offshore NW-Africa. *Geologische Rundschau*, 80, 567-589.
- [32] TOSSOU, M.G. (2002). Recherche palynologique sur lavégétation holocène du sud-Bénin (Afrique del'Ouest). Ph.D. Thesis, Proefschrift Universite de Lome, 136.
- [33] PETER S.O, BAMISILE. K. ADEWALE. (2014). Palynostratigraphy and Paleoclimate of the Sequences Penetrated by Meren 31 Side Tract-2 Well, Offshore Niger Delta. *International Journal of Geosciences*, 5, 1206-1218.
- [34] VERA. C.A, AHMAD. H.H, WINANTRIS. (2013). Pliocene pollen and spores from Sajau Coal, Berau Basin, Northeast Kalimantan, Indonesia: Environmental and Climatic Implications. *International Journal of Science and Research*, pp 2319-7064.
- [35] THANIKAIMONI. G, CARATINE. C, VENKATACHALA. B. S, RAMANUJAM. C. G.K , AND KAR. R. K,(EDS). (1984). Selected tertiary angiosperm pollen from India and their relationship with African Tertiary pollen. *Institute FRancais de Pondichery, Travaux de la Section Scientifique et Technique*, 19, 1-93.
- [36] SCHRANK, E. (1990). Palynology of classic Cretaceous sediments between Dongola and Wadi Muqaddam, Northern Sudan. *Berliner Geowis-senschaftliche Abhandlungen A* 120(1), 149-168.
- [37] OLA-BURAIMO. A. O, OLUWAJANA. O. A, OLANIYAN. A, OMOBORIOWO. A. O.(2012). Palynological investigation of a type section of early Maastrichtien Arimogija-Okeluse Shale sequence, Dahomey (Benin) embayment, Southwestern Nigeria.int.j sci. emerging tech. vol-3 no 1, pp37-45.
- [38] HERNGREEN, G.F.W. (1998). Cretaceous sporomorph provinces and events in the equatorial region. *Zentralblatt fur Geologie und Palaontologie* 1996 (11/12), 1313-32.
- [39] WILKINSON. G. C. ET BOULTER. M. C. (1980). Oligocene pollen and spores from the western part of the British Isles. *Palaeontographica Abteilung B*, 175: 27-83.
- [40] SRIVASTAVA, S.K. & BINDA, P.L. (1991). Depositional History of the Early Eocene Shumaysi formation, Saudi Arabia. *Palynology*, 15: 47-61.
- [41] FREDERIKSEN, N.O. (1994). Middle and Late Paleocene Angiosperm Pollen from Pakistan. *Palynology*, 18 :91-137.
- [42] AKKIRAZ, M., and AKGÜN, F. (2005). Palynology and age of the Early Oligocene units in Çardak-Tokça Basin, southwest Anatolia: Palaeoecological implications. *Geobios*, 38: 283–299.
- [43] VAN KONIJNENBURG VAN CITTERT, J.H.A. (2002). Ecology of some Late Triassic to Early Cretaceous ferns in Eurasia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 119, pp. 113-124.
- [44] SULEMAN.K. (2012). Biostratigraphy and Microfacies of the Cretaceous Sediments in the Indus Basin, Pakistan. *The University of Edinburgh*. 337pp.
- [45] PARRISH, J.T., ZIEGLER, A.M., SCOTese, C.R. (1982). Rainfall patterns and the distribution of coals and evaporites in the Mesozoic and Cenozoic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 40, 67-101.
- [46] ROCHON. A, EYNAUD. F, DE VERNAL. A. (2008). Dinocysts as tracers of hydrographical conditions and productivity along the ocean margins: Introduction. *Marine Micropaleontol.*, 68: 1–5.
- [47] TRYON, A. F. AND LUGARDON. B. (1991). Spores of Pteridophyta: surface, wall structure and diversity based on electron microscope studies, Springer – Verlag, New York, 648 p.
- [48] PETR. S ET OMAR. M. (2008). Campanian to Maastrichtien palynofacies and dinoflagellate cyst to the Silesian unit, outer western carpathians, Czech Republic. *Bulletin of geosciences* 83(2), 207-224.
- [49] GEDL P. (2007). Dinocysts from Up per Cretaceous deep-water marinevariegated facies (Malinowa Shale Formation), Pieniny Klippen Belt, Po land: example from the Potok Trawne creek. *Studia Geologica Polonica*, 127: 139–152.

ANNEXE



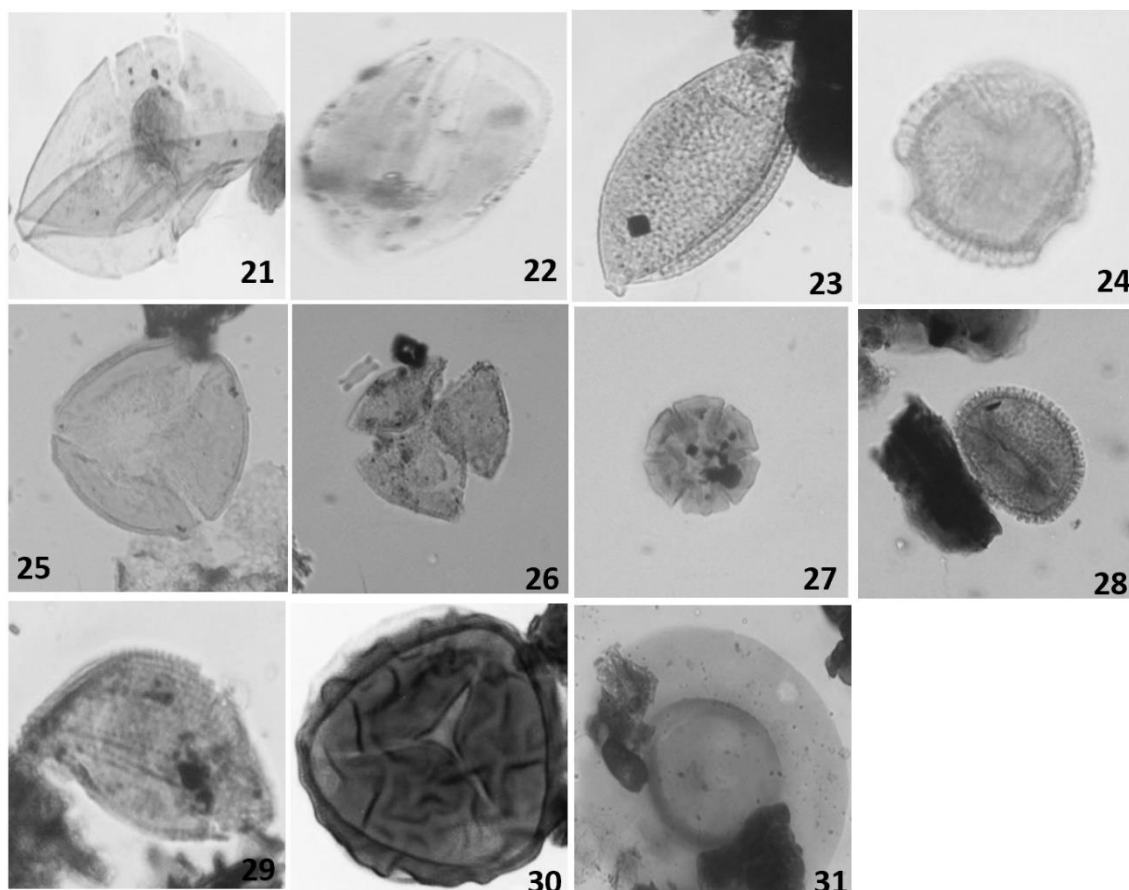


Planche 1: Prises photographiques en lumière transmise

La barre d'échelle sur la figure 10 représente 20µm et s'applique à tous les spécimens

A- PTÉRIDOPHYTES

- 1-*Foveotrilites margaritae* (Van der Hammen 1954) Germeraad & Muller, 1968 (M23; 8-9 m; P1)
- 2-*Zlivisporis blanensis*, Pacltova 1961. (C22/2; 8-9 m; P1)
- 3-*Deltoidospora minor* (Couper, 1953) Pocock, 1970 (C22/2; 7-8 m; P1)
- 4-*Cyathidites minor*, ((Cooper 1953) Popock, 1970 (U36/2; 8-9 m; P1)
- 5-*Laevigatosporites ovatus*, Wilson & Webster, 1946 (V18/4; 6-7 m; P1)
- 6-*Leiotrilites adriennis*, (Krutzschn, 1959) (U13/4; 8-9 m; P1)
- 7-*cicatricosporites dorengis* (D27; 7-8 m; P1)

B- ANGIOSPERMES

- 8-*Mauritiidites crassibaculatus*, Van Hoeken-Klinkenberg, 1964 (V45/2; 6-7 m; P1)
- 9- *Proxapertites operculatus* (Van Der Hammen, 1954) Germeraad & Muller, 1968 (C42; 8-9 m; P1)
- 10- *Longapertites marginatus*, Van Hoeken-Klinkenberg, 1964 (R36/3; 7-8 m; P1)
- 11-*Margocolporites rauwolfii*, Salard, 1978 (W33/2; 5-6 m; P13)
- 12-*Spinizonocolpites baculatus*, Muller, 1968 (H33/2; 8-9 m; P11)
- 13- *Longapertites vanenderburgi*, Germeraad, Hopping and Muller, 1968. (X39; 6-7 m; P1)
- 14- *Periretisyncolpites giganteus* Kieser & Jan Du Chêne, 1979 (J12/4; 5-6 m; P1)
- 15-*Scabratiporites annulus*, (Van Hoeken-Klinkenberg, 1964) (E46/4; 7-8 m; P1)
- 16- *Pachydermites diederixii*, Germeraad & Muller, 1968 (O37/4; 6-7 m; P1)
- 17- *Proxapertites emendus*
- 18-*Proxapertites curcus* Van Hoeken-Klinkenberg, 1966 (P40; 9-10 m; P1)
- 19- *Proteacidites dehaani*, Germeraad et al. 1968. (H31/2; 8-9 m; P1)
- 20- *Monocolpites marginatus* Van Der Hammen, 1954 (Q37/3; 7-8 m; P1)
- 21-*Monocolpopollenites* sp (J15/4; 6-7 m; P1)
- 22-*Monosulcites* sp (D20/4; 5-6 m; P1)

23-*Longapertites proxapertitoides*, Jan du Chêne & Adegoke in Adegoke et al. 1978 (X37; 6-7 m; P1)

24-*Retitriporites* sp., (D20/4; 6-7 m; P1)

25- *Psilatricolpites* sp.,

26-*Tricolpites americana*

27-*Retistephanocolpites williamsi*

28-*Retimonocolpites* sp.,

C- GYMNOSPERMES

29-*Ephedripites* sp., (S47/3; 8-9 m; P1)

D- LYCOPODIOPHYTES

30- *Camarozonosporites ambigens* Playford, 1971 (B42/3; 7-8 m; P1)

E- ALGUES

31-*Pterpermopsis danica*

Morphologie et régime alimentaire de la grenouille *Hoplobatrachus occipitalis* (Gunther, 1858) au Bénin: Un pas essentiel vers son élevage

[Morphology and diet of the frog *Hoplobatrachus occipitalis* (Gunther, 1858) in Benin: An essential step towards its culture]

Lucienne Codjo^{1,2}, E.Y. Attakpa^{1,2}, R.O.E. Pelebe^{2,3}, K.S. Abahi¹, C.A. Orou-Seko², Z. Sidi Orou Massara², and I. Imorou Toko²

¹Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Production Animales (LESPA), Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou (UP), Benin

²Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ), Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou (UP), Benin

³Centre d'Excellence Africain sur la Résilience Côtière (ACECoR), Centre de Gestion Côtière (CCM), Université de Cape Coast (UCC), Ghana

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study deals with the morphological features and diet of the frog *Hoplobatrachus occipitalis* in Benin. Specimens were caught in the River basins of Ouémé, Mono and Niger using the light fishing technique. Morphometric data were taken on 180 individuals while diet data were collected on 90 specimens per hydrographic basin. The mean values of individual weight, total length and snout-cloaca length of *H. occipitalis* in the Niger River basin are significantly lower compared to the other two basins ($p < 0.05$) where the values of the three parameters are statistically similar ($p > 0.05$). Compared to males, females displayed higher values of these parameters and most of the differences are significant in the Ouémé and Mono River basins ($p < 0.05$). The overall emptiness index is 29.9%, the highest and lowest values being obtained in the Niger River basin ($43.3 \pm 2.4\%$) and Ouémé River basin ($13.6 \pm 2.5\%$), respectively ($p < 0.05$). The diversity of prey in the stomachs of frogs from the Niger River basin (Insects, plant debris and grains of sand) is low compared to the Ouémé River basin (Insects, plant debris, Arachnids, Molluscs, Fish and grains of sand) and the Mono basin (Insects, plant debris, Fish and grains of sand). Insects are the most frequent, the most numerically abundant and the most weight-representative in the three River basins. They are the main food in the diet of *H. occipitalis* in the Ouémé and Niger River basins while in the Mono River basin, they are with the plant debris of secondary foods. All other prey encountered are incidental in the diet of *H. occipitalis*. These biological data are useful for the breeding of *H. occipitalis* in Benin.

KEYWORDS: Anuras, African tiger frog, diet, morphometry, Benin.

RESUME: La présente étude traite de la morphologie et du régime alimentaire de la grenouille *Hoplobatrachus occipitalis* au Bénin. Les spécimens ont été capturés dans les bassins fluviaux de l'Ouémé, du Mono et du Niger en utilisant la technique de pêche à la lumière. Les mesures morphométriques ont été prises sur 180 sujets par bassin alors que les données sur le régime alimentaire ont été collectées sur 90 spécimens par bassin. Les valeurs moyennes du poids individuel, de la longueur totale et de la longueur museau-cloaque de *H. occipitalis* dans le bassin du Niger sont significativement plus faibles en comparaison aux deux autres bassins ($p < 0,05$) où les valeurs des trois paramètres sont statistiquement similaires ($p > 0,05$). Comparées aux mâles, les femelles présentent des valeurs plus élevées de ces paramètres et la plupart des différences sont significatives dans le bassin de l'Ouémé et celui du Mono ($p < 0,05$). L'indice de vacuité est globalement de 29,9%, la plus forte et la plus faible valeur étant obtenues respectivement dans le bassin Niger ($43,3 \pm 2,4\%$) et celui de l'Ouémé ($13,6 \pm 2,5\%$) ($p < 0,05$). La diversité de

proies dans les estomacs des grenouilles provenant du bassin du Niger (Insectes, débris végétaux et grains de sable) est faible comparativement au bassin de l'Ouémé (Insectes, débris végétaux, Arachnides, Mollusques, Poissons et grains de sable) et celui du Mono (Insectes, débris végétaux, Poissons et grains de sable). Les Insectes sont les plus fréquents, les plus numériquement abondants et les plus pondéralement représentatifs dans les trois bassins. Ils constituent le principal aliment dans le régime de cette espèce dans les bassins de l'Ouémé et du Niger alors que dans le Mono, ils sont avec les débris végétaux des aliments secondaires. Toutes les autres proies sont accessoires dans le régime alimentaire. Ces données sont utiles pour l'élevage de *H. occipitalis* au Bénin.

MOTS-CLEFS: Anoures, grenouille tigrée africaine, régime alimentaire, morphométrie, Bénin.

1 INTRODUCTION

En Afrique et particulièrement dans les pays ouest-africains tels que la côte d'Ivoire, le Nigeria, le Ghana, le Sénégal et le Bénin, la grenouille tigrée africaine (*Hoplobatrachus occipitalis*) est l'espèce comestible la plus capturée et consommée [1]. Sa demande sans cesse croissante à travers le monde a occasionné une augmentation du nombre de pêcheurs spécialisés et engendré une forte exploitation des populations et stocks naturels. Ainsi, il a été rapporté une forte diminution de stocks de *H. occipitalis* particulièrement à partir des années 80 sous l'influence des activités anthropiques ([2]; [3]). En dehors de leur utilité nutritionnelle et alimentaire, les grenouilles jouent un rôle clé au sein des écosystèmes. En effet, en raison de leur grande sensibilité face aux altérations d'habitats et aux perturbations en général, les grenouilles sont d'excellents indicateurs de la qualité de l'environnement dans lequel ils vivent ([4]). De même, elles constituent une importante source de proies pour divers prédateurs et leurs têtards, qui sont généralement des filtreurs, contribuent à la stabilité de la qualité de l'eau des étangs et des ruisseaux ([5]). La grenouille *H. occipitalis* joue un rôle important dans la chaîne trophique des êtres aquatiques et particulièrement dans l'agriculture où elle consomme une grande partie des insectes et larves qui dévastent les cultures. Les études sur la biologie et l'écologie notamment la croissance et le régime alimentaire de l'espèce constituent des sources de données pratiques utilisables non seulement pour la gestion de ses stocks naturels mais aussi pour sa valorisation réussie en production aquacole. A cet effet, plusieurs études portant sur les paramètres morphologiques et les habitudes alimentaires de *H. occipitalis* ont été conduites en Afrique de l'Ouest notamment en Côte d'Ivoire et au Nigéria. Au Bénin, des travaux sur ces aspects sont assez rares hormis le travail de [6] limitée au nord du Bénin. Etant donné que les modèles de croissance et la composition du régime alimentaire des grenouilles varient en fonction de la situation géographique, du type de milieu et de la saison, il est encore nécessaire que des recherches supplémentaires soient entreprises pour mieux connaître le régime alimentaire de cette espèce dans ses principales zones d'occurrence au Bénin. La présente étude conduite dans trois bassins hydrographiques, dont deux au sud (Ouémé et Mono) et un au nord (Niger) du Bénin vise à combler ce manque de connaissances scientifiques. Elle a donc pour objectif de caractériser la morphologie et le régime alimentaire de *H. occipitalis* au Bénin. Des données morphométriques de même que celles relatives à la qualité et la quantité des proies ainsi que leurs variations en fonction du sexe et de l'habitat ont été analysées et présentées dans ce travail.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Dans le cadre de cette étude, trois bassins hydrographiques notamment ceux des fleuves Ouémé et Mono au sud et celui transfrontalier du Niger au nord du Bénin constituent le milieu d'étude. La figure 1 présente les sites de collecte des spécimens de grenouilles dans chaque bassin. Il s'agit pour le bassin du Niger, des zones humides des villages de Bello-Tounga, de Bomi-Tounga, de South-Tounga et de Goungoun Béni dans la commune de Karimama. Les villages de Kessounou (commune de Dangbo), de Agonli Lowé et Akpadanou dans la commune d'Adjohoun d'une part et les villages de Ouedémé (commune de Lokossa), de Agbobada et Athiémé Centre dans la commune d'Athiémé ont servi de sites d'échantillonnage respectivement dans les bassins de l'Ouémé et du Mono.

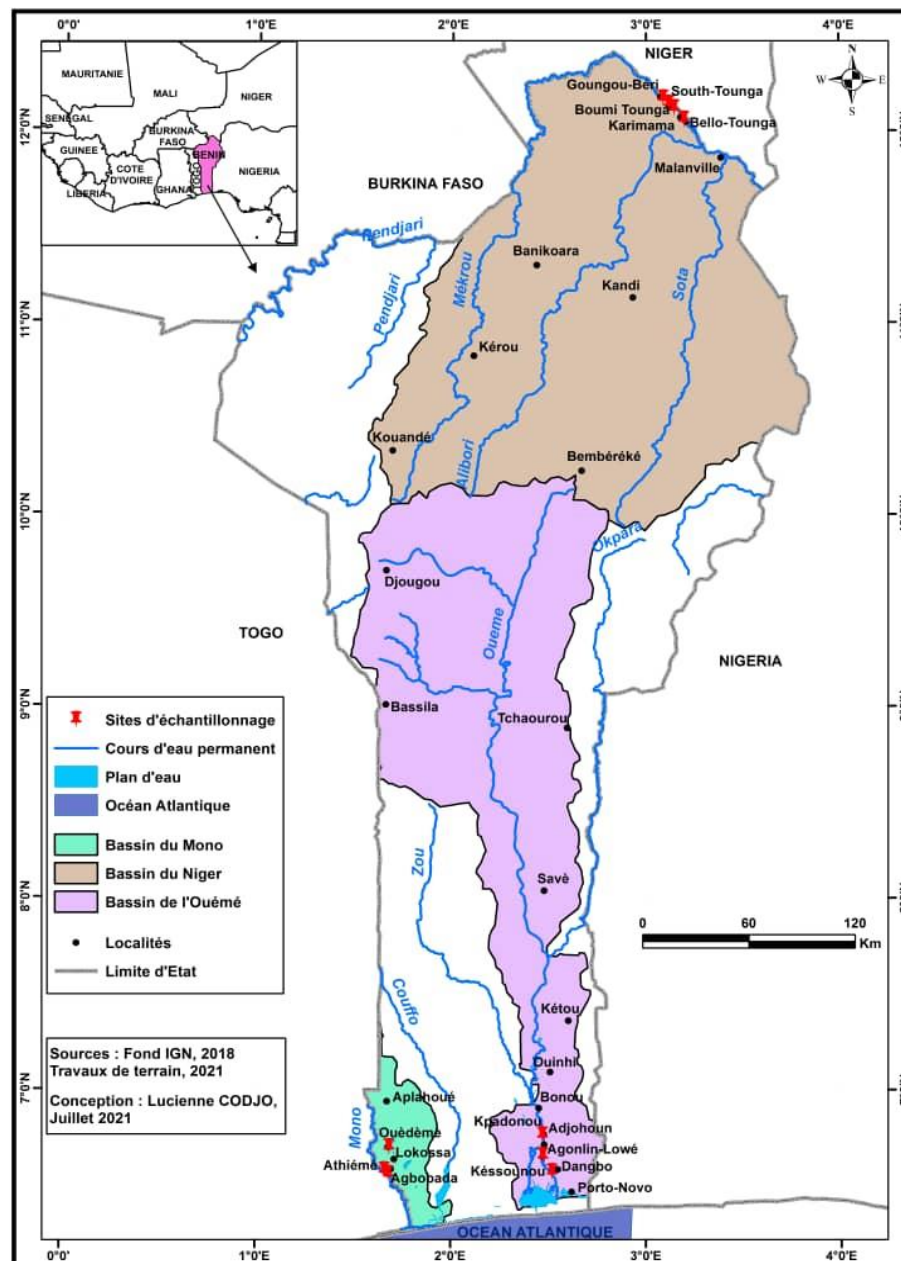


Fig. 1. Carte hydrographique du Bénin montrant les sites d'échantillonnage des grenouilles au niveau des bassins hydrographiques de l'Ouémé, du Mono et du Niger

2.2 TECHNIQUE, PÉRIODE DE COLLECTE ET IDENTIFICATION DES SPÉCIMENS DE GRENOUILLE

L'échantillonnage des grenouilles étudiées a été réalisé durant deux années consécutives pendant la saison de crue, soit de juin à septembre dans les bassins de l'Ouémé et du Mono, et d'août à novembre dans le bassin du Niger. La technique de pêche à la lumière a été utilisée et consiste à immobiliser les grenouilles en quête de proies durant la nuit en projetant de forts rayons lumineux dans leurs yeux.

Les grenouilles capturées ont été identifiées à l'aide des clés de description établies par [7], [8], et [9].

2.3 MESURES MORPHOMÉTRIQUES

Après capture, les mesures morphologiques ont été immédiatement prises sur 180 individus de l'espèce *Hoplobatrachus occipitalis* identifiée choisies au hasard par bassin. Sur chaque sujet, le sexe a été identifié et les paramètres morphologiques ont été mesurés. Ces derniers sont le poids moyen individuel (Pm, en g), la longueur totale (LT, en cm) et la longueur du

museau-cloaque (LM-C, en cm). Le poids individuel a été pris à l'aide d'une balance électronique de marque SARTORIUS PRACTUM313-1 S (portée 310 g; précision 0,001 g). Pour les mesures de longueur, un pied à coulisse de marque ACIAP (1/10 avec molette, 120 mm) été utilisé. Pour ce faire le spécimen a été placé en position dorso-ventrale sur une planchette avec les pattes étendues. La longueur totale est la distance entre le museau antérieur de la bouche et l'extrémité des plus longs doigts des pattes antérieures; la longueur museau-cloaque représente la distance horizontale entre le museau antérieur de la bouche et le cloaque. La illustre schématiquement les mesures effectuées sur chaque spécimen.



Fig. 2. Illustration schématique des différentes mesures effectuées sur chaque individu de grenouille *H. occipitalis* (LT= Longueur totale; LM-C = Longueur museau-cloaque)

2.4 ETUDE DU RÉGIME ALIMENTAIRE DES GRENOUILLES CAPTURÉES

2.4.1 EXAMEN DES CONTENUS STOMACaux

Pour déterminer le régime alimentaire *H. occipitalis*, les contenus stomacaux des 90 individus identifiés par bassin ont été analysés. Pour cela, chaque individu pesé et mesuré a été immédiatement euthanasié. Ils ont été ensuite disséqués et les estomacs ont été prélevés et conservés directement dans des piluliers étiquetés (date, site d'échantillonnage, bassin et numéro du spécimen) contenant de l'alcool (éthanol 70°). Une fois au laboratoire, chaque estomac a été minutieusement pesé, son contenu vidé dans une boîte de pétri et les différents constituants ont été examinés d'abord à l'œil nu puis au binoculaire (MOTIC ST-39 SERIES, X10). Les différentes matières solides retrouvées dans les estomacs ont été catégorisées en 6 types ou item: 1. Insectes; 2. Arachnides; 3. Mollusques; 4. Poissons; 5. Végétaux, et 6. Autres (généralement des grains de sable). Pour les Arachnides, les Poissons et les végétaux seuls des parties ou débris ont été observés.

2.4.2 PARAMÈTRES D'APPRÉCIATION DU RÉGIME ALIMENTAIRE

Pour rendre compte des résultats du régime alimentaire de *H. occipitalis*, des paramètres couramment utilisés à cet effet ont été calculés ([10]). Il s'agit notamment de:

- L'indice de vacuité (V) ([11])

Il a été déterminé sur un échantillon de 30 estomacs pris au hasard par bassin et renseigne d'une manière ou d'une autre sur la disponibilité de ressources alimentaires dans le milieu et leur appétibilité.

$$V (\%) = (Nv / N) \times 100$$

Nv le nombre d'estomacs vides observés et N le nombre total d'estomacs examinés.

- Le pourcentage d'occurrence (%F) ([12])

Il est calculé pour chaque item, et représente la probabilité d'observation de cet item dans un estomac.

$$\%F (\%) = (N_{ei} / N_{et}) \times 100$$

N_{ei} est le nombre d'estomacs contenant un item i et N_{et} le nombre d'estomacs non vides examinés.

- Le pourcentage numérique (%N) ([13])

Il est calculé pour chaque item et correspond à l'abondance numérique de cet item.

$$\%N (\%) = (N_i / N_t) \times 100$$

N_i et N_t sont respectivement le nombre d'individus d'un item i et le nombre total d'individus de tous les items inventoriés.

- Le pourcentage pondéral (%P) ([13])

Il est aussi calculé pour chaque item ou type de proie observé, et correspond à l'abondance pondérale de cet item.

$$\%P = (M_i / M_t) \times 100$$

M_i la masse d'une catégorie de proie i et M_t la masse totale de tous les items répertoriés.

- Aliment principal ou Main Food Item (MFI) ([14])

Il indique l'importance relative d'un item ou aliment dans le régime alimentaire d'une espèce. Il est calculé suivant la formule ci-après:

$$MFI = \sqrt{\left(\frac{\%N + \%F}{2}\right) \%P}$$

Selon [14], le poids est le principal facteur, raison pour laquelle sa formule lui donne une importance particulière. En effet, pour que MFI soit élevé, il faut que F soit élevé car la fréquence est une mesure indépendante de toutes les composantes du régime. En outre, des valeurs élevées de P excluent de fortes abondances puisque les petits organismes sont pris en plus grande quantité que les gros ([14]). Selon la valeur du MFI calculée, l'importance de l'aliment (ou proie) peut être qualifiée de:

- « Essentielle » si $MFI > 75$
- « Principale » si $51 < MFI < 75$
- « Secondaire » si $26 < MFI < 50$
- « Accessoire » si $MFI < 26$

2.5 TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les résultats sont exprimés sous la forme moyenne $\pm$ écart type. Une Analyse de Variance à deux Facteurs (ANOVA 2) notamment « bassin » et « sexe », a été utilisée pour comparer les différentes moyennes des variables morphométriques (le poids moyen individuel, la longueur totale et la longueur museau-cloaque). Une ANOVA 1 a été effectuée pour comparer les valeurs d'indice de vacuité (V) après avoir opéré une transformation logarithmique de ces valeurs. Le cas échéant le test HSD de Tukey a été effectué pour comparer les moyennes deux à deux. Toutes ces analyses ont été réalisées avec le logiciel STATISTICA version 6.1, et le seuil de significativité (p) considéré était de 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE *H. OCCIPITALIS* DANS LES BASSINS ÉTUDIÉS

La présente les valeurs moyennes du Poids moyen individuel (P_m), de la Longueur totale (LT) et de la Longueur museau-cloaque ($LM-C$) de *H. occipitalis* dans les trois bassins étudiés. La présente également ces paramètres en fonction du sexe des

grenouilles. Les deux facteurs (bassin et sexe) et leur interaction ont un effet significatif sur les paramètres morphométriques mesurés.

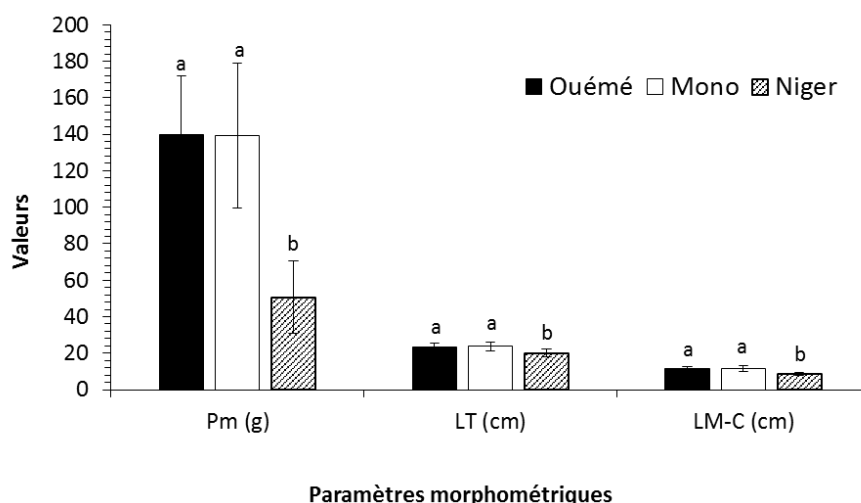


Fig. 3. Variation des paramètres morphométriques de *H. occipitalis* dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger

Le poids moyen individuel (Pm) de *H. occipitalis* a varié d'un bassin à un autre, soit $139,6 \pm 32,2$ g, $139,2 \pm 40,0$ g et $50,7 \pm 19,6$ g ($p < 0,05$), respectivement dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger (Figure 3). Les spécimens de *H. occipitalis* vivant dans le bassin du Niger au Bénin ont des poids significativement plus faibles comparativement aux individus des 2 autres bassins (Figure 3). Comme le poids moyen individuel, la Longueur totale (LT) de *H. occipitalis* est faible ($p < 0,05$) dans le bassin du Niger ($20,0 \pm 2,0$ cm) comparativement aux autres bassins ($23,5 \pm 2,1$ cm et $23,6 \pm 2,4$ cm, respectivement dans l'Ouémé et le Mono) (Figure 3). Cette même tendance a été également observée en ce qui concerne la Longueur museau-cloaque (LM-C) qui est de $11,4 \pm 1,4$ cm, $11,5 \pm 1,7$ cm et $8,4 \pm 0,9$ cm, respectivement dans l'Ouémé, le Mono et le Niger ($p < 0,05$) (Figure 3).

Tableau 1. Paramètres morphométriques de *H. occipitalis* en fonction du sexe dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger

Caractéristiques	Sexe	Bassin		
		Ouémé	Mono	Niger
Poids moyen individuel (Pm, g)	M	127,8±21,3 ^a	124,9±29,4 ^a	51,6±15,7 ^b
	F	155,5±37 ^a	161,6±44,4 ^a	50,2±21,8 ^b
	p	0,00005	0,00003	0,99996
Longueur totale (LT, cm)	M	23,0±1,5 ^a	23,2±1,6 ^a	20,5±1,3 ^a
	F	24,2±2,5 ^a	24,3±3,2 ^a	19,8±2,3 ^b
	p	0,87631	0,03444	0,99658
Longueur museau-cloaque (LM-C, cm)	M	11,0±1,6 ^a	11,1±1,9 ^a	8,7±0,6 ^b
	F	11,9±1,0 ^a	12,1±1,1 ^a	8,3±1,0 ^b
	p	0,01475	0,04337	0,90852

M: mâle; F: femelle. Les valeurs d'une même ligne portant des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$). p indique l'effet sexe.

Des différences significatives ($p < 0,05$) liées au sexe ont été observées au niveau des paramètres morphométriques mesurés (Tableau 1). Aussi bien les mâles que les femelles de *H. occipitalis* ont des poids moyens individuels (Pm), des longueurs totales (LT) et des longueurs museau-cloaque (LM-C) plus faibles dans le bassin du Niger comparativement aux deux autres bassins. Pour tous ces paramètres aucune différences significative ($p > 0,05$) n'a été observée entre les mâles et les femelles dans les bassins de l'Ouémé et du Mono d'une part, et, d'autre part entre les mâles des bassins de l'Ouémé et du Mono, et les femelles des bassins de l'Ouémé et du Mono (Tableau 1).

3.2 CARACTÉRISATION DU RÉGIME ALIMENTAIRE DE *H. OCCIPITALIS*

3.2.1 INDICE DE VACUITÉ (V)

L'indice de vacuité des estomacs des spécimens de *H. occipitalis* capturés a significativement varié d'un bassin à un autre ($p < 0,05$) (Tableau 2). Cet indice a été globalement de 29,9% à l'échelle des trois bassins étudiés, mais est très élevé dans le bassin Niger ($43,3 \pm 2,4\%$) et du Mono ($33,3 \pm 0,0\%$), comparativement au bassin de l'Ouémé ($13,6 \pm 2,5\%$). Aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été observée entre mâles et femelles dans le même bassin (Tableau 2).

Tableau 2. *Indice de vacuité de l'estomac de *H. occipitalis* dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger*

Bassin	Nombre d'estomac	Sexe		Nombre d'estomac vide			Indice de vacuité (%)		
		M	F	M	F	Total	M	F	Moyenne
Ouémé	90	51	39	6	6	12	11,8	15,3	$13,6 \pm 2,5^a$
Mono	90	36	54	12	18	30	33,3	33,3	$33,3 \pm 0,0^b$
Niger	90	57	33	24	15	39	42,1	45,5	$43,3 \pm 2,4^c$
Total	270	144	126	42	39	81	-	-	29,9

M: mâle; F: femelle. Les valeurs d'une même colonne portant des lettres différentes sont significativement différentes.

3.2.2 DIVERSITÉ ET CARACTÉRISTIQUES DES ALIMENTS / PROIES OBSERVÉS

3.2.2.1 DIVERSITÉ DES ALIMENTS CONSOMMÉS

En dehors des Insectes, des débris végétaux et des grains de sable qui ont été retrouvés dans les estomacs de tous les spécimens dans les 3 bassins (Tableau 3), les Arachnides et les Mollusques ont pas été observés que dans les estomacs de *H. occipitalis* provenant du bassin de l'Ouémé, tandis que les Poissons ont été retrouvés dans les estomacs provenant des bassins de l'Ouémé et du Mono. Les estomacs des sujets capturés dans le bassin du Niger ont donc une faible diversité de proies (ou aliment) dans leur régime, comparativement aux deux autres bassins (Tableau 3). De façon générale, les insectes ou restes d'insectes rencontrés dans les estomacs de *H. occipitalis* étaient de plusieurs types, appartenant aux familles des Hémiptères, des Coléoptères, des Diptères, des Hyménoptères, des Lépidoptères, des Orthoptères et des Mantodes). Les Arachnides sont essentiellement des restes d'araignée, et les Mollusques observés sont des gastéropodes appartenant à la famille des Planorbidae reconnaissables facilement à leurs coquilles discoïdes plates. Les poissons et les végétaux indiqués sont respectivement des restes d'organes (écailles, têtes, nageoires, etc.) ou de macrophytes aquatiques (feuilles fraîches, branchages, graines ou fruits, etc.) intacts ou en début de digestion.

Tableau 3. *Type d'aliments / proies observés dans les contenus stomacaux de *H. occipitalis* dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger*

Aliment / proie	Bassin /habitat			Fréquence (%)
	Ouémé	Mono	Niger	
Insectes	+	+	+	100
Arachnides	+	*	*	33,3
Mollusques	+	*	*	33,3
Poissons	+	+	*	66,7
Végétaux	+	+	+	100
Autres (sable)	+	+	+	100

+ indique la présence; * indique l'absence

3.2.2.2 OCCURRENCE ET ABONDANCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS ALIMENTS (%F, %N ET %P)

Les valeurs de l'occurrence (%F) et du pourcentage numérique (%N) des différentes Aliments /proies rencontrés dans l'estomac de *H. occipitalis* sont présentés par bassin de capture dans le En dehors des grains de sable dont la consommation est certainement accidentelle et qui sont retrouvés dans tous les estomacs examinés (100%) et dans tous les bassins, les Insectes et les débris végétaux sont les plus fréquemment consommés par *H. occipitalis* dans les trois bassins étudiés. Les

insectes ont été retrouvés dans tous les estomacs des grenouilles capturés dans le bassin du Niger, alors qu'on les retrouve dans 88,7% et 86,7% des estomacs non vides examinés, respectivement dans les bassins du Mono et de l'Ouémé. Comparativement au bassin du Niger où seulement deux types de proies sont consommés par *H. occipitalis*, le régime alimentaire de cette espèce est plus diversifié dans le bassin de l'Ouémé où nous avons retrouvé en dehors des Insectes et de débris végétaux des Arachnides dans 26,7% des estomacs, et des Poissons et Mollusques dans 3,3% des estomacs examinés (Tableau 4).

Parmi les aliments/proies consommés par *H. occipitalis* dans les trois bassins d'étude, les Insectes sont les plus abondantes numériquement, soit 62,9%, 62,1% et 57,6% respectivement dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger (Tableau 4). Ils ont été aussi les plus représentatifs en terme de poids (%P) dans les trois bassins (44,4%, 31,6% et 58,0%, respectivement dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger) suivis des grains de sable (40,1%, 25,0% et 37,3%, respectivement dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger) et des débris végétaux (13,3%, 18,3% et 58,0%, respectivement dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger) (Figure 4).

Tableau 4. Occurrence (%F) et pourcentage numérique (%N) des aliments/proies consommés par *H. occipitalis* dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger

Paramètre	Bassin	Insectes	Arachnides	Mollusques	Poissons	Végétaux	Sable
%F	Ouémé	86,7	26,7	3,3	3,3	40,0	100,0
	Mono	88,7	0,0	0,0	4,2	46,4	100,0
	Niger	100,0	0,0	0,0	0,0	25,8	100,0
%N	Ouémé	62,9	12,9	1,6	1,6	21,0	-
	Mono	62,1	0,0	0,0	3,4	34,5	-
	Niger	59,4	0,0	0,0	0,0	40,6	-

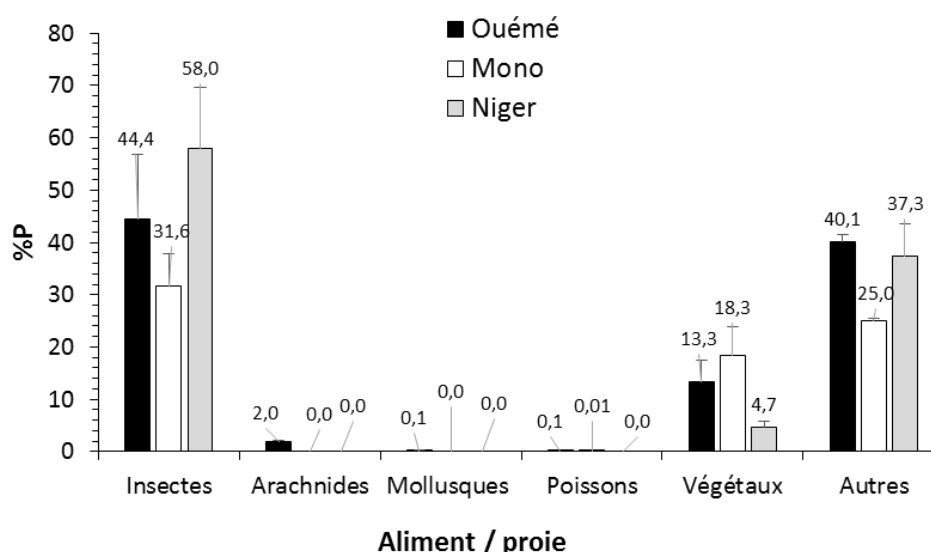


Fig. 4. Pourcentage pondérale (%P) des aliments/proies de *H. occipitalis* dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger

3.2.3 IMPORTANCE RELATIVE DES ALIMENTS CONSOMMÉS (MFI)

Dans les trois bassins étudiés, les Insectes sont apparus comme étant l'aliment majoritairement consommé par *H. occipitalis* en milieu naturel (Figure 5). Conformément à la classification de [14], aucun des aliments consommés par *H. occipitalis* dans les trois bassins ne peut être qualifié d'« Essentiel » dans son régime alimentaire (MFI < 75). Cependant, les Insectes constituent le « principal » aliment de cette espèce dans les bassins de l'Ouémé et du Niger (MFI = 57,6 et 67,6, respectivement), tandis que dans le bassin du Mono ils sont autant que les débris végétaux qualifiés d'aliments « secondaires » dans le régime alimentaire. Au regard des faibles valeurs de MFI observées (<26) pour les autres aliments (Arachnides, Mollusques et Poissons) dans tous les bassins, ils peuvent donc être qualifiés d'« accessoires ».

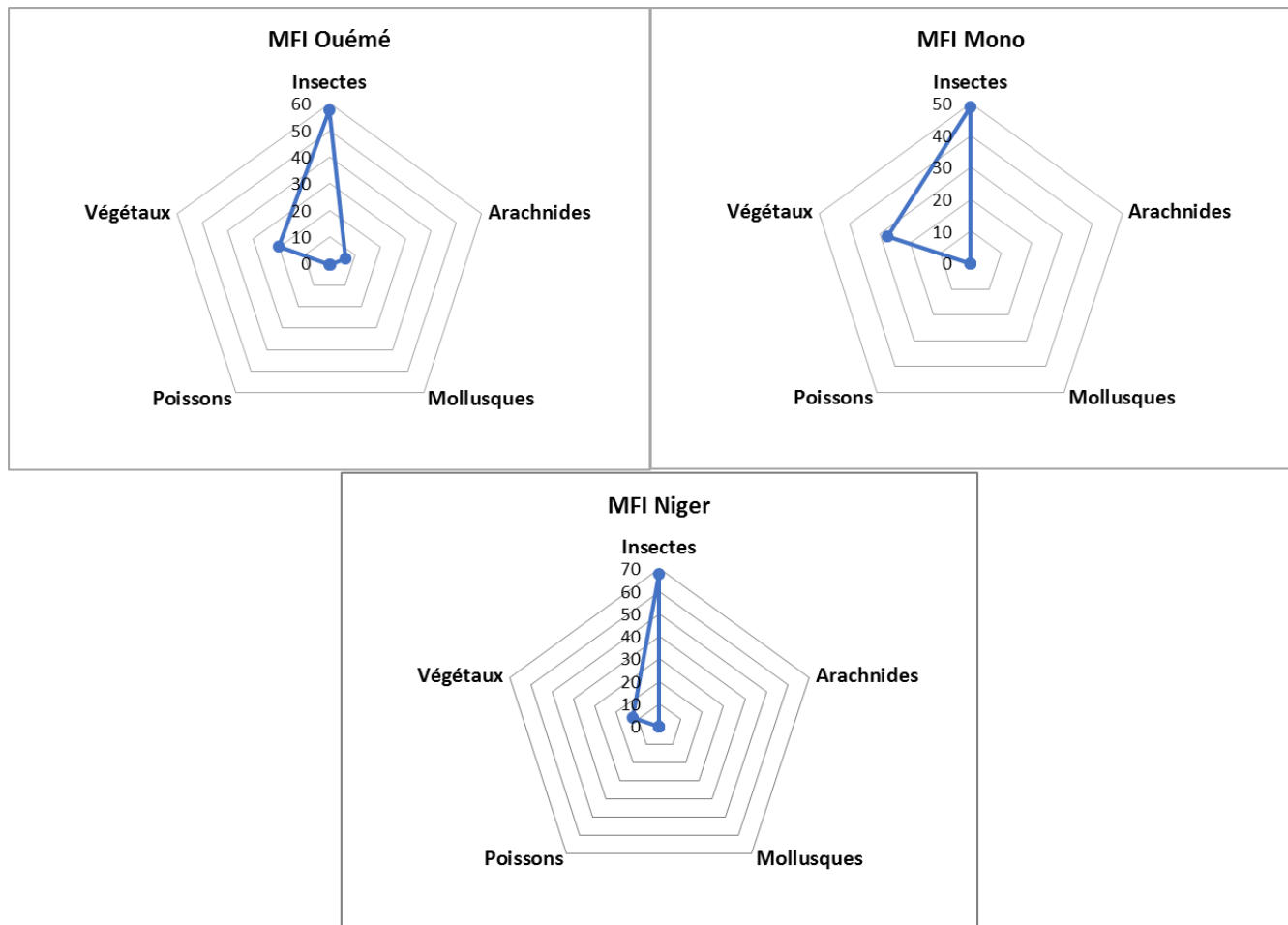


Fig. 5. Importance relative des aliments/proies consommés (MFI) par *H. occipitalis* dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger

4 DISCUSSION

Dans cette étude, la morphométrie et le régime alimentaire de la grenouille comestible *Hoplobatrachus occipitalis* ont été caractérisés dans les bassins de l'Ouémé, du Mono et du Niger au Bénin. Les résultats obtenus montrent que les spécimens de *H. occipitalis* capturés dans les bassins de l'Ouémé et du Mono sont significativement plus grands que ceux vivants dans le bassin du Niger. Les paramètres morphométriques (le poids moyen individuel: Pm, la longueur totale: LT, et la longueur du museau-cloaque: LM-C) de *H. occipitalis* dans le bassin du Niger ne sont pas significativement différents d'un sexe à un autre, tandis que dans les bassins de l'Ouémé et du Mono, ces paramètres sont significativement plus grands chez les femelles que chez les mâles de *H. occipitalis* bien que cette différence entre sexe ne soit pas significative pour la LT dans le bassin de l'Ouémé. La référence [15] a également observé un dimorphisme sexuel chez les amphibiens du Cameroun, les femelles étant plus grandes avec une longueur museau-cloaque variant de 11 à 13,5 cm, contre 6,8 à 11 cm chez les mâles. Les auteurs de la référence [6] qui ont travaillé sur la même espèce dans le bassin du Niger au Bénin ont également rapporté des poids individuels variant de 35 à 48 g (soit $73,1 \pm 29,0$ g en moyenne) et de longueurs museau-cloaque variant de $6,78 \pm 10,8$ cm (soit en moyenne $8,38 \pm 1,04$ cm). Comme dans notre cas, ces mêmes auteurs n'ont pas observé de différences significatives de taille ni de poids entre les mâles et les femelles de *H. occipitalis* dans le bassin du Niger au Bénin. Cependant, les différences de taille et de poids individuel observées entre les trois bassins pourraient être dues non seulement à des facteurs génétiques, mais aussi et surtout à la qualité des habitats et des ressources alimentaires disponibles dans ces bassins ([16], [17], [18], [19]).

En effet, l'analyse des contenus stomacaux de *H. occipitalis* montre une variété de régimes d'un bassin à un autre, qui s'étend à plusieurs groupes de proies/aliments. Dans le bassin du Niger, les proies observées sont peu diversifiées (Insectes et Végétaux exclusivement), tandis que dans le bassin de l'Ouémé on observe une plus grande diversité de proies dans les contenus stomacaux. L'estimation des abondances des proies potentielles observées a permis de révéler la sélectivité alimentaire de cette espèce d'un bassin à l'autre. Au total cinq (5) catégories de proies ont été identifiées dans les estomacs des *H. occipitalis*. Parmi ces différentes proies, et quel que soit le bassin de capture, les Insectes sont les plus abondants suivis

des débris végétaux, des Arachnides, des Poissons et enfin des Mollusques. Les Insectes représentent ainsi pour cette espèce le « principal » aliment dans les bassins de l'Ouémé et du Niger ($51 < \text{MFI} < 75$), tandis que dans le bassin du Mono ils peuvent être autant que les débris végétaux qualifiés d'aliments « secondaires » ($26 < \text{MFI} < 50$) dans le régime alimentaire de *H. occipitalis* si l'on considère la catégorisation de [14]. Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par [20] et [21] qui indiquent que les grenouilles du genre *Hoplobatrachus* sont principalement carnassières à tendance entomophage; les végétaux, les poissons et les autres proies étant peu fréquents dans leurs contenus stomacaux. Selon [22], *Hoplobatrachus tigerinus*, une espèce asiatique, peut ingérer jusqu'à 10 % de son propre poids en insectes par jour. En Inde, plusieurs auteurs ([22]; [21]) rapportent que la surexploitation des grenouilles à de fins commerciales a entraîné la prolifération d'un grand nombre d'insectes, notamment des moustiques vecteurs de maladies et des parasites agricoles.

La variation des aliments consommés par *H. occipitalis* d'un bassin à un autre pourrait être due à la disponibilité des ressources alimentaires qui elles aussi peuvent varier selon les saisons et/ou les habitats ([23], [19], [24]). Contrairement à nos résultats, [6] ont observé que les poissons étaient les proies les plus courantes et les plus importantes dans les estomacs de *H. occipitalis* capturés dans le bassin du Niger. Ils les ont observés dans 33,8% des estomacs examinés et leur indice d'importance relative ($\text{IRI} = 2646,7$) était presque sept fois plus élevé que celui des Coléoptères qui représentaient la deuxième catégorie de proies en importance ($\text{IRI} = 381,22$). Toutefois il est important de souligner que l'abondance des poissons dans le régime alimentaire de *H. occipitalis* telle qu'observée par [6] serait liée au fait que les spécimens examinés durant leurs travaux ont été capturés soit dans des casiers rizicoles inondés, des branches peu profondes des rivières ou dans des étangs temporaires, où plusieurs espèces de poissons (Cichlidae, Cyprinidae et Claridae) migraient notamment pour l'alimentation et la reproduction. Plusieurs auteurs ([25], [26]) rapportent que l'abondance de proies particulières est généralement liée soit au site d'échantillonnage, ou à la disponibilité des proies variant entre les habitats, ainsi qu'entre les paysages naturels et/ou dominés par l'homme. Par exemple *Aubria subsigillata*, une grande grenouille aquatique de la forêt tropicale africaine a été signalée comme prédatrice principalement de poissons au Gabon ([27]), alors que Hughes (1979) n'a retrouvé aucun poisson dans les estomacs de cette même espèce au Ghana. Aussi, l'indice de vacuité des estomacs de *H. occipitalis* examinés était-il de 29,9% et a significativement varié d'un bassin à un autre, avec une plus grande vacuité dans le bassin Niger ($43,3 \pm 2,4\%$) et du Mono ($33,3 \pm 0,0\%$), comparativement au bassin de l'Ouémé ($13,6 \pm 2,5\%$). Dans le bassin du Niger, [6] rapportent aussi un indice de vacuité élevé (20,62%) chez *H. occipitalis*, et ce paramètre, comme dans notre cas, est indépendant du sexe ($p > 0,05$). Ce taux élevé serait lié soit à la raréfaction des proies qui oblige les individus à un jeun régulier, ou encore à la digestion plus rapide des proies, notamment d'origine animale ([28]).

Par ailleurs, la présence des végétaux et des grains de sable dans les estomacs des grenouilles examinées a déjà été expliquée par plusieurs auteurs ([29], [30], [31], [26]). Selon [29], les végétaux ingérés pourraient aider les sujets à l'élimination des parasites intestinaux, fournir des fourrages grossiers pour aider à digérer les exosquelettes d'arthropodes, et/ou fournir des nutriments et une source d'eau supplémentaire. Par contre [26] qualifient d'accidentelle la présence des débris végétaux dans le contenu stomacal des amphibiens; ces végétaux peuvent être ingurgités accidentellement lors de la capture des proies. Néanmoins, certaines espèces de grenouilles se nourrissent de plantes ([32], [33]), et les grains de sable ingérés pourraient les aider à digérer les aliments/proies ([34]).

5 CONCLUSION

En définitive, il ressort que les grenouilles de l'espèce *Hoplobatrachus occipitalis* présentes dans les bassins de l'Ouémé et du Mono sont de grande taille comparativement à celles vivant dans le bassin du Niger au Bénin. Un dimorphisme sexuel de taille est observé, les femelles étant généralement plus grandes. Les proies consommées par les grenouilles dans les bassins de l'Ouémé et du Mono sont plus diversifiées en comparaison au bassin du Niger; toutefois le spectre alimentaire de cette espèce reste relativement restreint, les insectes étant majoritaires dans son régime alimentaire. Ce régime n'a pas varié en fonction du sexe de même que l'indice de vacuité des estomacs dans les trois bassins. Ces données sont d'une très grande importance en perspective à la domestication de cette espèce dans les exploitations aquacoles au Bénin en particulier.

REFERENCES

- [1] A. B. Onadeko, R. I. Egonmwan, et J. K. Saliu, "Edible amphibian species: local knowledge of their consumption in southwest Nigeria and their nutritional value," *West African Journal of Applied Ecology*, vol. 19, no. 1, 2011.
- [2] R. E. Green, "The influence of numbers released on the outcome of attempts to introduce exotic bird species to New Zealand," *Journal of Animal ecology*, pp. 25-35, 1997.
- [3] J. P. Collins et A. Storfer, "Global amphibian declines: sorting the hypotheses," *Diversity and distributions*, vol. 9, no. 2, pp. 89-98, 2003.
- [4] IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2004. Biodiversity Offsets Technical Study Paper.
- [5] M. Mohneke, A. B. Onadeko, M. Hirschfeld, et M. O. Rödel, "Dried or fried: amphibians in local and regional food markets in West Africa," *Traffic Bulletin*, vol. 22, no. 3, pp. 117-128, 2010.
- [6] M. Hirschfeld et M.-O. Rödel, "The diet of the African Tiger Frog, *Hoplobatrachus occipitalis*, in northern Benin," *Salamandra*, vol. 47, no. 3, pp. 125-132, 2011.
- [7] M. O. Rödel, "Herpetofauna of West Africa," *Amphibians of West Africa*. (ed.) Micheal Meyers, vol. 1, 2000.
- [8] M.-O. Rödel et W. R. Branch, "Herpetological survey of the Haute Dodo and Cavally forests, western Ivory Coast, Part I: amphibians," *SALAMANDRA-BONN-*, vol. 38, no. 4, pp. 245-268, 2002.
- [9] M.-O. Rödel, M. Gil, A. C. Agyei, A. D. Leaché, R. E. Diaz, M. K. Fujita, R. Ernst, "The amphibians of the forested parts of south-western Ghana," *Salamandra*, vol. 41, no. 3, pp. 107-127, 2005.
- [10] K. G. Blahoua, Y. E. Adou, Z. M. Gogbé, et V. N'Douba, "Régime Alimentaire De *Hemichromis Fasciatus* (Perciformes, Cichlidae) Dans Le Lac De Barrage Hydroélectrique d'Ayamé 2 (Côte d'Ivoire)," *European Scientific Journal*, vol. 13, no. 30, pp. 126-138, 2017.
- [11] E. Rosecchi, "Régime alimentaire du pageot, *Pagellus erythrinus*, Linne 1758, (Pisces, Sparidae) dans le Golfe du Lion," *Cybiurn* (Paris), vol. 7, no. 3, pp. 17-29, 1983.
- [12] E. Rosecchi et Y. Nouaze, "Comparaison de cinq indices alimentaires utilisés dans l'analyse des contenus stomacaux," *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches maritimes*, vol. 49, no. 3-4, pp. 111-123, 1985.
- [13] L. Lauzanne, "Régimes alimentaires et relations trophiques des poissons du lac Tchad," 1976.
- [14] C. D. Zander et T. Hagemann, "Feeding ecology of littoral gobiid and blennioid fishes of the Banyuls area (Mediterranean Sea): 3. Seasonal variations," *Scientia Marina* (Barcelona), no. 2-3, 1989.
- [15] J.-L. Perret, *Les amphibiens du Cameroun*. Institut de Zoologie Université de Neuchatel, 1966.
- [16] R. F. Inger et H. Marx, *The food of amphibians*. Institut des parcs nationaux du Congo et du Ruanda-Urundi, 1961.
- [17] C. A. Toft, "Feeding ecology of thirteen syntopic species of anurans in a seasonal tropical environment," *Oecologia*, vol. 45, no. 1, pp. 131-141, 1980.
- [18] L. Luiselli, G. C. Akani, E. Politano, E. Odegbune, et O. Bello, "Dietary shifts of sympatric freshwater turtles in pristine and oil-polluted habitats of the Niger Delta, southern Nigeria," *Herpetological Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 57-64, 2004.
- [19] É.-H. Kovács, I. Sas, S.-D. Covaciu-Marcov, T. Hartel, D. Cupsa, et M. Groza, "Seasonal variation in the diet of a population of *Hyla arborea* from Romania," *Amphibia-Reptilia*, vol. 28, no. 4, pp. 485-491, 2007.
- [20] S. A. Abdulali, N. P. Silvertown, V. S. Yakirevich, et M. I. Ionescu, "Right ventricular outflow tract reconstruction with a bovine pericardial monocusp patch: Long-term clinical and hemodynamic evaluation," *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, vol. 89, no. 5, pp. 764-771, 1985.
- [21] G. M. Oza, "Ecological effects of the frog's legs trade," *Environmentalist*, vol. 10, no. 1, pp. 39-42, 1990.
- [22] H. Abdulali, "On the export of frog legs from India," *Journal of the Bombay Natural History Society*. Bombay, vol. 82, no. 2, pp. 347-375, 1985.
- [23] J. Lescure, "L'alimentation du crapaud *Bufo regularis* Reuss et de la grenouille *Dicroglossus occipitalis* (Günther) au Sénégal," *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, vol. 33, pp. 446-466, 1971.
- [24] B. Tohé, "Reproduction et régime alimentaire de trois espèces d'anoures des habitats dégradés du Parc National du Banco (Côte d'Ivoire): *Ptychadena mascareniensis*, *P. pumilio* et *Hoplobatrachus occipitalis*," Unpublished dissertation, Université d'Abobo Djamé, Abidjan, vol. 39, 2009.
- [25] T. Hirai et M. Matsui, "Feeding habits of the pond frog, *Rana nigromaculata*, inhabiting rice fields in Kyoto, Japan," *Copeia*, pp. 940-947, 1999.
- [26] M. Solé, I.R. Dias, E. A. S. Rodrigues, J. E. Marciano, J. M. S. Branco, P. K. Cavalcante, D. Rodder, "Diet of *Leptodactylus ocellatus* (Anura: Leptodactylidae) from a cacao plantation in southern Bahia, Brazil," *Herpetology Notes*, vol. 2, no. 2009, pp. 9-15, 2009.
- [27] L.-P. Knoepfler, "Food habits of *Aubria subsigillata* in Gaboon (Anura: Ranidae)," *African Zoology*, vol. 11, no. 2, pp. 369-371, 1976.

- [28] T. Kone, E. P. Kouamelon, N. I. Ouatrara, et A. V. Kicho, "Régime alimentaire de *Pomadasys jubelini* (Pisces, Haemulidae) dans une lagune Ouest africaine (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire)," *Sciences & Nature*, vol. 4, no. 1, pp. 65-73, 2007.
- [29] A. M. Anderson, D. A. Haukos, et J. T. Anderson, "Diet composition of three anurans from the Playa Wetlands of Northwest Texas," *Copeia*, pp. 515-520, 1999.
- [30] L. Aszalós, H. Bogdan, É.-H. Kovács, et V.-I. Peter, "Food composition of two *Rana* species on a forest habitat (Livada Plain, Romania)," *North-Western Journal of Zoology*, vol. 1, pp. 25-30, 2005.
- [31] B. Kutrup, E. Çakir, et N. Yilmaz, "Food of the banded newt, *Triturus vittatus ophryticus* (Berthold, 1846), at different sites in Trabzon," *Turkish Journal of Zoology*, vol. 29, no. 1, pp. 83-89, 2005.
- [32] I. Das, "Folivory and seasonal changes in diet in *Rana hexadactyla* (Anura: Ranidae)," *Journal of Zoology*, vol. 238, no. 4, pp. 785-794, 1996.
- [33] H. R. Da Silva et M. C. De Britto-Pereira, "How much fruit do fruit-eating frogs eat? An investigation on the diet of *Xenohyla truncata* (Lissamphibia: Anura: Hylidae)," *Journal of Zoology*, vol. 270, no. 4, pp. 692-698, 2006.
- [34] M. Evans et M. Lampo, "Diet of *Bufo marinus* in Venezuela," *Journal of Herpetology*, vol. 30, no. 1, pp. 73-76, 1996.

Prévalence des bactéries potentiellement pathogènes dans les eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages en commune d'Ibanda

[Prevalence of potentially pathogenic bacteria in the waters of Lake Kivu and the Ruzizi river downstream of illegal dumps in Ibanda commune]

Balumisa Mubolwa Jules¹, Gabriel Baguma Balagizi², Rwabika Mushengezi Anicet³, Munundu Mwangaza Aline⁴, Aksanti Lwango⁵, Atumishi Mubangu El Kent⁶, and Cubaka Kabagale Alfred⁷

¹Master en gestion de l'environnement, Politique-socio-économie de l'environnement, Assistant de premier mandat, Institut Supérieur d'Agroforesterie et de Gestion de l'Environnement (ISAGE) de Kahuzi, Biega, RD Congo

²Assistant, Université Officielle de Bukavu, BP: 570 Bukavu, RD Congo

³ISP, GOMA, RD Congo

⁴Centre Hydrobiologique d'Uvira, RD Congo

⁵Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bukavu, RD Congo

⁶Master en gestion de l'environnement, Politique-socio- économie de l'environnement, écrivain et chercheur de la RDC, RD Congo

⁷Laboratoire de Physiologie Végétale et de Microbiologie Appliquée, Université Officielle de Bukavu, BP: 570 Bukavu, RD Congo

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this research was to quantify and identify pathogenic bacteria in the wastewater of Lake Kivu and the Ruzizi River, downstream of wild dumps. Bacteria samples were taken using the 250 ml sterile plastic vials. Indeed, the whole forearm is immersed in water with the vial, open at a depth of 25 to 30 cm and it is hermetically sealed inside the water itself. The samples were transported at low temperatures in a cooler containing ice blocks to the laboratory for possible analysis. Microbiological analyses were done at the LPVMA/UOB. To arrive at a possible count of the number of colonies of bacteria, the process of the dilution technique of the samples because it allows us to reduce the bacterial flora in a sample. For each site, we inoculated on three Petri dishes according to the number of dilutions (from 10^0 to 10^{-3}). All Petri dishes are incubated at 37°C for 24 hours. The number of colonies was found on the surface of all three plates averaged and expressed in colony-forming units (CFU) per ml of water. Plating on the specific media was done in test tubes using a platinum loop. The results of our analyses showed that the max/min shift of the values of variables of the physicochemical parameters according to the sampling sites did not exceed the interval of one unit: salinity (0.06-0.5), temperature (24.25-25.4°C), pH (8.5-9), dissolved O₂ (57.2 - 59.8 mg/L.10⁻¹). Regarding to the variation of CFU on the different culture media used, the analyses revealed us that the number of colonies varies according to the type of culture media, which constitutes a danger of the community health of the urban population. The studies on these bacteria resistance according to the most commonly used antibiotics are capital for a better support to the public health. It is on PCA and PA where we found the most colonies than on ECA where the CFUs are the lowest. A significant difference was observed between the CFU detected in the waters of Mushununu and those detected in the waters of the Ruzizi I dam ($p = 0.005$), those detected in the waters from Hewa Bora and those from ELAKAT ($p = 0.03$) and those from Honga and ELAKAT ($p = 0.041$). A spatial distribution of detected genera of potentially pathogenic bacteria; including *Salmonella sp*, *Escherichia sp*, *Sphingomonas sp*, *Pseudomonas sp*, *Klebsiella sp*, *Moraxella sp*, *Vibrio sp*, *Citrobacter sp*, *Enterobacter sp*, and *Serratia sp* was observed.

KEYWORDS: Prevalence, Pathogenic bacteria, Lake Kivu, Ruzizi River, wild dumps, Commune of Ibanda.

RESUME: L'objectif de cette recherche était de quantifier et identifier les bactéries pathogènes des eaux usées du lac Kivu et de la rivière Ruzizi, en aval des décharges sauvages. Les échantillons de bactéries ont été prélevés à l'aide des flacons en plastiques stériles de 250 ml. En effet, tout l'avant-bras est plongé dans l'eau avec le flacon, ouvert à une profondeur de 25 à 30 cm de profondeur et il est hermétiquement fermé à l'intérieur même de l'eau. Les échantillons ont été transportés dans un sac isotherme au LPVMA/UOB pour les analyses. Pour arriver au dénombrement des colonies des bactéries potentiellement pathogènes, le procédé de la technique de dilution des échantillons et trois boîtes de pétri ont été inoculées à chaque dilution (10^{-1} ; 10^{-2} et 10^{-3}). Toutes ces boîtes ont été incubées à 37°C pendant 24h. Le nombre de colonies a été trouvé sur la surface de toutes les 3 boîtes en faisant leur moyenne et en les exprimant en unités formatrices de colonies (UFC) par ml d'eau. L'ensemencement sur les milieux d'identification a été fait dans des tubes à essai à l'aide d'une anse de platine. Les résultats des analyses, ont montré que le décalage max/min des valeurs de variation des paramètres physico-chimiques selon les sites d'échantillonnage n'excède pas l'intervalle d'une unité: la salinité (0,06-0,5‰mg/l), la température (24,25-25,4°C), le pH (8,5-9), l'O₂ dissous (5,72-5,98 mg/l). De ce qui concerne la variation des UFC sur les différents milieux de culture utilisés, les analyses nous ont révélé que les nombres des colonies varient selon le type des milieux de culture. C'est sur le PCA et le PA où nous avons trouvé le plus de colonies que sur l'ECA où les UFC sont le moins élevées. Une différence significative a été observée entre les UFC détectées dans les eaux de Mushununu et celles du barrage de la Ruzizi I ($p=0,005$), celles de Hewa Bora et d'ELAKAT ($p = 0,03$) et celles de Honga et d'ELAKAT ($p = 0,041$). En outre, une répartition spatiale des genres bactériens potentiellement pathogènes ont été détectés; à savoir *Salmonella sp*, *Escherichia sp*, *Sphingomonas sp*, *Pseudomonas sp*, *Klebsiella sp*, *Moraxella sp*, *Vibrio sp*, *Citrobacter sp*, *Enterobacter sp* et *Serratia sp* a été observée. Ce qui constitue un danger de la santé communautaire de la population urbaine. Les études sur la résistance de ces bactéries selon les antibiotiques les plus couramment utilisés s'avèrent capital pour une meilleure prise en charge de la santé publique.

MOTS-CLEFS: Prévalence, Bactéries pathogènes, Lac Kivu, Rivière Ruzizi, décharges sauvages, Commune d'Ibanda.

1 INTRODUCTION

Avec le début de l'industrialisation, des décharges commencent à apparaître et la plupart des déchets produits (domestiques et industriels) sont absorbés par la nature ou dilués par des rejets dans les cours d'eau et/ou dans l'atmosphère (Mohamed, 2015). La plupart d'habitants n'ont d'autres possibilités que des dépôts anarchiques dans la rue, sur des réserves administratives des parcelles non mises en valeur (Asceas, 2008). Cela fait à ce que, ces sites de stockage sont exploités sans aucun respect de l'environnement et des règles élémentaires d'hygiène publique (Aina et Matejka, 2003; Alemad, 2010).

Cependant, la proximité des décharges publiques qui reçoivent tout type des déchets sans aucun traitement préalable constitue une source potentielle de pollution des cours d'eau, soit par ruissellement des eaux soit par lixiviation qui héberge des éléments chimiques et bactériologiques pour le milieu récepteur (Alemad, 2010). En plus ces polluants peuvent être un facteur de mise en danger ou de diminution de la biodiversité aquatique (Bouisson, 2012) et l'eau au voisinage des villes devient une cible de la pollution provoquant des risques énormes pour la santé (Abdis et al., 2013; Belghiti et al., 2009; Vial, 1983) ralentissant la productivité des écosystèmes naturels (Bagalwa et al., 2011; Bercky, 2012). Dans la ville de Bukavu, des eaux usées issues de la décharge entraînent des perturbations dans le milieu récepteur de façon qu'en saison de pluie les déchets sont charriés vers le lac Kivu en provenant des bassins versants tels que ceux des rivières Mpungwe, Kawa, Weshwa, Tshula et Bwindi (Bagalwa et al., 2011; Lina, 2016).

Vu cette pertinence, la présente section se focalise plus sur la recherche des bactéries pouvant se trouver dans les eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans la ville de Bukavu. Ces déchets contiennent un certain nombre de micro-organismes d'origine fécale (bactéries, virus, parasites) dont certains sont pathogènes (Amorce, 2012) par voie digestive (cas de *Salmonella ssp*). Aguiza et al (2014) montrent que les rejets domestiques, de l'abattoir municipal de la ville, des rejets des égouts peuvent être source importante des streptocoques fécaux. L'un des aspects les plus passionnants des sciences de l'environnement et d'autres domaines scientifiques est de comprendre comment les systèmes qui sont constitués de plusieurs parties interactives fonctionnent en tant que réalité (Raven et al., 2008).

Les analyses bactériologiques de l'eau ont pour but de mettre en évidence la présence ou non des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée (Aina et Matejka, 2003).

Cette partie du travail a comme objectif principal, la caractérisation des bactéries pathogènes des eaux en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans le lac Kivu et la rivière Ruzizi.

Il s'agit précisément de:

- Identifier les bactéries pathogènes des eaux en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans le lac Kivu et la rivière Ruzizi;
- Evaluer la qualité de ces eaux par des paramètres bactériologiques et physicochimiques.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 TECHNIQUES DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

L'échantillonnage s'était effectué sur 8 sites dont 4 sites (Mushununu, ELAKAT, Barrage Ruzizi, Hewa Bora) se trouvant à l'entrée de la rivière Ruzizi et 4 autres sites (Kahuwa, Baie de Nyofu, Bassin du Collège et Honga) à l'entrée du lac Kivu. Ces sites de prélèvement étaient choisis en fonction de leur localisation par rapport à certains endroits de stockage des déchets sauvages de la commune d'Ibanda.

Tous les paramètres physicochimiques (pH, température, salinité, conductivité et O₂ dissous) ont été prélevés *in situ* par un appareil multisonde de marque PCE-PHD 1.

Les échantillons de bactéries ont été prélevés à l'aide des flacons en plastiques stériles de 250 ml (Mokdadi, 2015). Ces échantillons ont été pris de manière à ce qu'on évite toute sorte de contact avec l'air ambiant. Tout l'avant-bras était plongé dans l'eau avec le flacon; ouvert à une profondeur de 5 à 10 cm de profondeur et il est hermétiquement fermé à l'intérieur même de l'eau (Rodier, 2005). Les échantillons ont été transportés à basse température dans une glacière contenant des blocs de glace au laboratoire pour les éventuelles analyses (Emmanuel et al., 2014).

2.2 TECHNIQUES D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Les analyses microbiologiques ont été faites au LPVMA/UOB. Pour arriver à un dénombrement éventuel des colonies des bactéries, nous avons procédé à la technique de dilution des échantillons car elle permet de réduire la flore bactérienne dans un échantillon (Gevaerts, 1985). Cette technique s'effectue en utilisant de l'eau distillée stérile comme diluant et des pipettes graduées stériles en plastique. Nous avons procédé à des dilutions décimales jusqu'à 10⁻³. Pour obtenir des échantillons dilués, nous avons utilisé 1ml d'échantillon que nous avons mélangé avec 9ml d'eau distillée préalablement stérile et ainsi de suite jusqu'à la dilution 10⁻³.

Nous avons recherché les bactéries sur cinq milieux de culture sélectifs dont le McConkey pour la recherche des coliformes fécaux, le Plate Count Agar (PCA) pour isoler la flore mésophile aérobie totale (FMAT), le SS Agar pour la recherche de *Salmonella sp* et de *Shigella sp*, le Pseudomonas Agar pour la recherche des *Pseudomonas sp* et Enterococcus Confirmatory Agar (ECA) pour la recherche des coliformes totaux. Pour l'identification des germes pathogènes, nous avons utilisé le Simmons Citrate Agar (SCA), Kigler iron agar (KIA) et le sulfure indole mobilité (SIM). Ces milieux sont préalablement stérilisés dans l'autoclave pendant 15min sous une pression d'1bar à 121°C dans des bécards ou d'autres flacons en verre.

En ce qui concerne les milieux universels, l'ensemencement a été effectué dans des boîtes de Pétri à l'aide de pipettes plastiques stériles. Et la procédure consiste à prélever dans une pipette graduée 1ml de l'échantillon dans les boîtes de Pétri vides préalablement étiquetées. Nous avons ensuite complété chacune de ces boîtes avec 20ml de milieu de culture. Puis nous avons effectué des mouvements circulaires et de va et vient en forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger complètement au milieu de culture avant de le laisser solidifier sur la paillasse (Mokdadi, 2015).

Pour chaque site, trois boîtes de Pétri ont été inoculées à dilution (10⁰ à 10⁻³) et toutes les boîtes de Pétri ont été incubées à 37°C pendant 24h. La moyenne du nombre de colonies trouvées à la surface de ces boîtes a alors été exprimée en unités formatrices de colonies (UFC) par ml d'eau. L'ensemencement sur les milieux d'identification a été fait dans des tubes à essai à l'aide d'une anse de platine. Diverses précautions d'asepsie ont été prises lors du prélèvement, le transport et la conservation au laboratoire des échantillons pour ne pas fausser les manipulations ultérieures (Ranjonson et al., 1992). Par ailleurs, les précautions telles que la désinfection des mains à l'alcool dénaturé et le port de gants lors des manipulations à proximité de la flamme d'un bec Bunsen....

Le traitement et analyse des données ont fait appel au logiciel PAST version 2.2 pour construire les dendrogrammes des UFC en fonction des milieux des cultures ainsi que leur variabilité. Le logiciel Excel a permis de construire les graphiques et les tableaux selon l'objectif de ce chapitre.

3 RÉSULTATS

3.1 VARIATION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES SELON LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

La figure 10 représente la variation moyenne de la salinité, de la température, de pH et de l'O₂ dissous sur les sites d'échantillonnage. Ces paramètres ne représentent pas des grandes variations d'un site à l'autre. Le décalage max/min des valeurs n'excède pas l'intervalle d'une unité: la salinité (0,05-0,06 %mg/l), la température (24,25-25,4°C), le pH (8,5-9), l'O₂ dissous (5,72-5,98 mg/L).

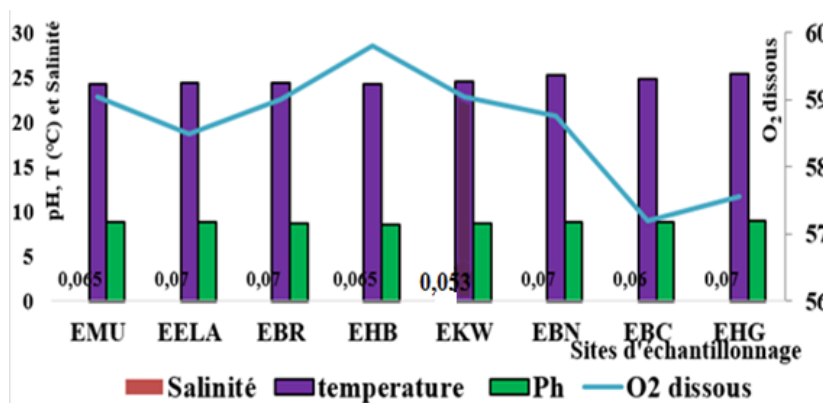


Fig. 1. Variation des paramètres physicochimiques sur les sites d'échantillonnage

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga

3.2 VARIATION DE LA CONDUCTIVITÉ SELON LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

La figure 11 ci-dessous illustre la variation moyenne de la conductivité sur les sites d'échantillonnage. Les valeurs les moins élevées sont notées à Hewa Bora et au Bassin du Collège alors que des valeurs vraiment élevées caractérisent le reste des sites. La valeur minimale est de 1130µS/cm (Bassin du Collège) tandis que la plus élevée est de 1265µS/cm (ELAKAT).

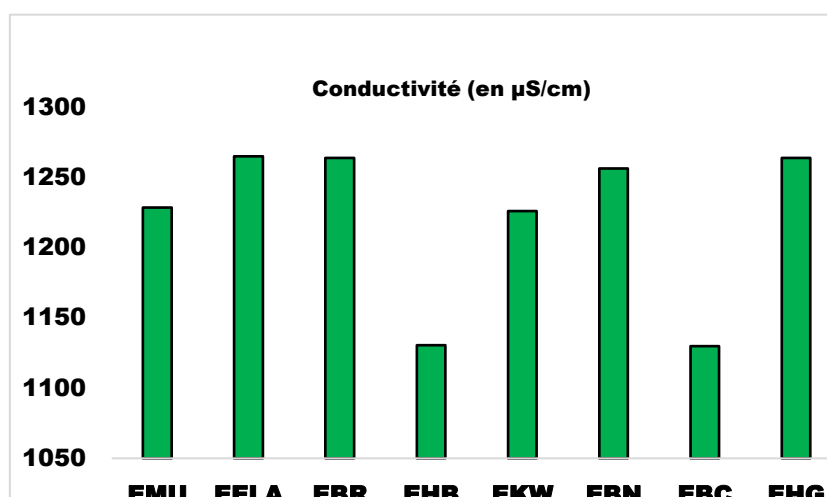


Fig. 2. Variation de la conductivité selon les sites d'échantillonnage

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kawa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du Bassin du Collège, EHG = eau de Honga

3.3 VARIATION DES UFC SUR LES DIFFÉRENTS MILIEUX DE CULTURE UTILISÉS

L'analyse bactériologique a été effectuée au LPVMA/UOB. Nous avons recherché des germes de la flore mésophile aérobie totale (FMAT), les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF), les *Pseudomonas*, les *Salmonella* et les *Shigella*. Nous avons utilisé McConkey pour détecter les coliformes fécaux, le « Plate Count Agar » (PCA) pour la FMAT, le SS Agar pour les *Salmonella/Shigella sp*, le Pseudomonas Agar pour *Pseudomonas sp* et Entérocoques Confirmatory Agar (ECA) pour les coliformes totaux. Les résultats sont repris à travers la figure 12.

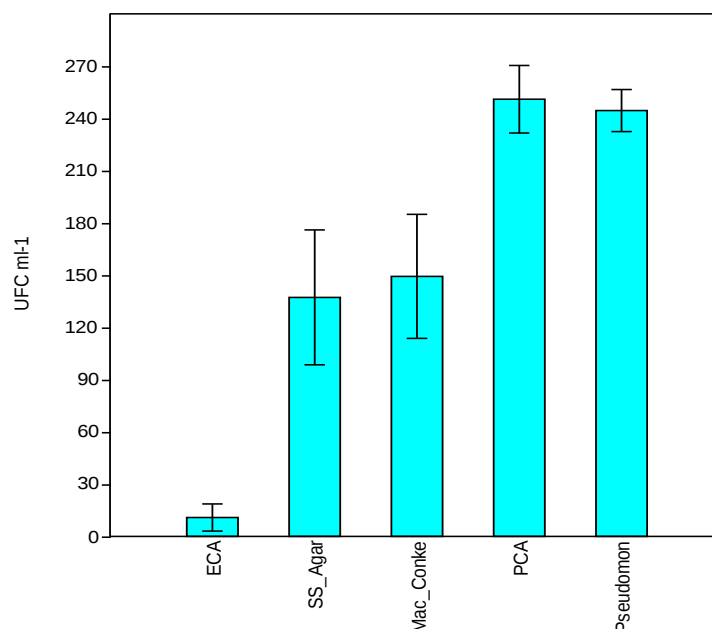


Fig. 3. Variation des UFC sur les différents milieux de culture utilisés

Légende: ECA (Enterococcus Confirmatory Agar), SS Agar, McConkey, PCA (Plate Count Agar), Pseudomonas Agar.

Les nombres des colonies varient selon le type des milieux de culture. C'est sur le PCA et le PA où nous avons trouvé le plus de colonies que sur l'ECA où les UFC sont le moins élevées.

3.4 CORRÉLATION DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES

Le tableau 8 ci-dessous présente la corrélation des paramètres physicochimiques et bactériologiques. Les résultats montrent que la corrélation est positive partout. La forte corrélation s'observe au niveau de la conductivité et tous les paramètres bactériologiques, sauf avec le milieu PA où la corrélation descend jusqu'à 0,49. La faible corrélation s'affiche au niveau de la température et de la FMAT avec une valeur de 0,02 et de la salinité et du milieu PA avec une valeur de 0,08.

Tableau 1. Corrélation des paramètres physicochimiques et bactériologiques

Paramètres	CT	SS	CF	FMAT	PA
Conductivité	0,96	0,79	0,95	0,94	0,49
Salinité	0,64	0,56	0,31	0,38	0,084
Température	0,34	0,44	0,54	0,02	0,70
pH	0,14	0,59	0,70	0,27	0,50
O ₂ dissous	0,30	0,54	0,64	0,12	0,43

Légende: CT = coliformes totaux, SS = *Salmonella sp* et *Shigella sp*, CF = coliformes fécaux, FMAT = flore mésophile aérobie totale, PA = *Pseudomonas aeruginosa*

3.5 VARIATION DES UFC OBSERVÉES SUR LES MILIEUX DE CULTURE SELON LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

La figure 13 ci-dessous montre des variations remarquables des UFC d'un site à un autre. Nous remarquons qu'il y a eu croissance des colonies sur McConkey, PCA et Pseudomonas agar à partir des eaux de tous les sites échantillonnés.

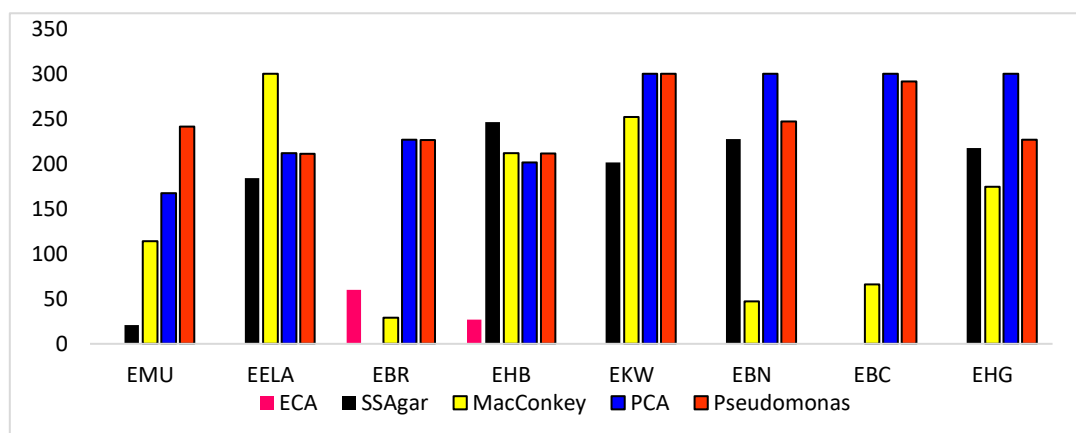


Fig. 4. Variation des UFC (x10⁶) observées sur les milieux de culture selon les sites d'échantillonnage

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga; ECA (Enterococcus Confirmatory Agar), SS Agar, McConkey, PCA (Plate Count Agar), Pseudomonas Agar.

Dans les eaux du barrage de Ruzizi I et du bassin du Collège, nous n'avons pas pu détecter de colonies sur SS Agar; c'est-à-dire que les UFC de *Salmonella sp* et *Shigella sp* y seraient présentes en dessous du seuil de détection. Des colonies n'ont été détectées sur ECA qu'à partir des eaux du barrage de Ruzizi I et de Hewa Bora. Le tableau 9 ci-dessous (résultats ANOVA) présente les sites ayant présenté des différences significatives en ce qui concerne les UFC détectées.

Tableau 2. Valeurs significatives des bactéries entre les sites d'échantillonnage

	EMU	EELA	EBR	EHB	EKW	EBN	EBC	EHG
EMU		0,97	1	0,99	0,86	0,99	1	0,97
EELA	1,38		0,97	1	0,99	1	0,98	1
EBR	0,005	1,38		0,98	0,86	0,99	1	0,97
EHB	1,35	0,03	1,35		0,99	1	0,99	1
EKW	1,94	0,56	1,94	0,59		0,99	0,96	1
EBN	1,05	0,32	1,06	0,29	0,88		0,99	1
EBC	0,43	0,95	0,44	0,91	1,50	0,62		0,99
EHG	1,42	0,041	1,43	0,08	0,51	0,37	0,99	

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga

Une différence significative a été observée entre les eaux de Mushununu et celles du barrage de la Ruzizi I ($p = 0,005$), celles de Hewa Bora et d'ELAKAT ($p = 0,03$) et celles de Honga et d'ELAKAT ($p = 0,041$). Les UFC détectées sur les autres sites ne sont pas significativement différentes car leur valeur de p est supérieure à 5%.

3.6 SIMILARITÉ ENTRE LES MILIEUX DE CULTURE UTILISÉS

Ce dendrogramme de la figure 5 montre le degré de similarité entre les 5 milieux de culture utilisés dans le travail. Il existe un fort taux de similarité d'une part entre SS Agar et McConkey et d'autre part entre PCA et PA. Le milieu ECA n'est similaire à aucun autre milieu de culture utilisé.

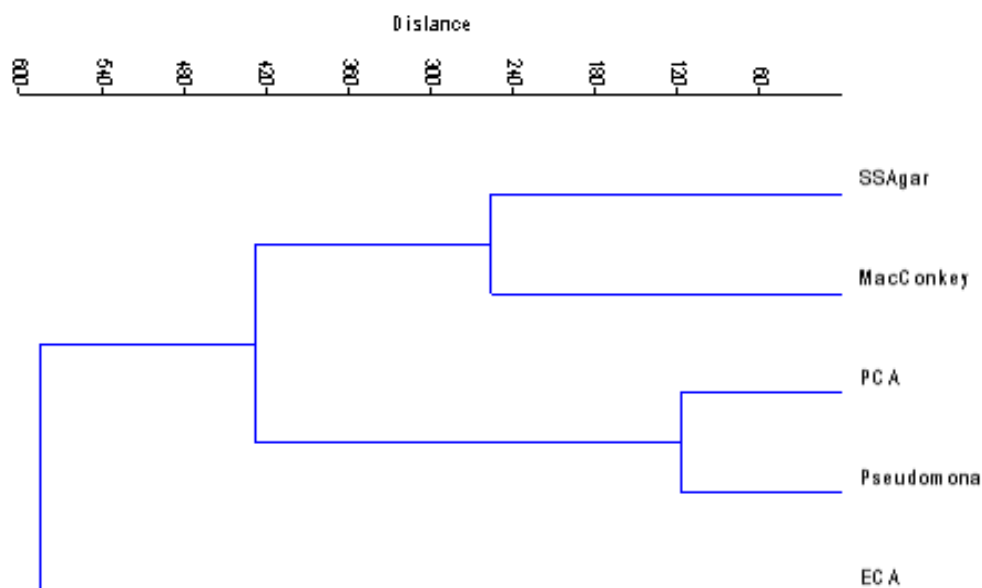


Fig. 5. Taux de similarité entre les milieux de culture utilisés

Légende (de haut vers le bas): SS Agar, MacConkey, PCA (Plate Count Agar), Pseudomonas Agar, ECA (Entérocoques Confirmatory Agar).

3.7 RÉPARTITION SPATIALE DES GENRES BACTÉRIENS POTENTIELLEMENT PATHOGÈNES DÉTECTÉS

Pour détecter les UFC des germes potentiellement pathogènes, les milieux Simmons Citrate Agar (SCA), Kigler iron agar (KIA) et Sulfure indole mobilité (SIM) ont été utilisés.

Le tableau 10 (page suivante) reprend les sites où au moins une UFC de germes potentiellement pathogènes a été détectée. Ce tableau présente les genres de bactéries potentiellement pathogènes isolés lors de notre recherche. Au total, nous avons identifié 10 genres et les résultats montrent que dans les eaux du Bassin du Collège, nous avons un seul genre, au Barrage de Ruzizi et à ELAKAT, on a trouvé 2 genres, à Mushununu, Kahuwa, Baie de Nyofu et Honga nous avons détecté 3 genres à chaque site et 4 à Hewa Bora. Les **XX** renvoient à une densité beaucoup plus importante tandis que les – indiquent les UFC sur le site sont en dessous du seuil de détection.

Tableau 3. Répartition spatiale des genres bactériens potentiellement pathogènes détectés

Germes isolés	EMU	EELA	EBR	EHB	EKW	EBN	EBC	EHG
<i>Escherichia sp</i>	X	-	-	-	X	-	-	-
<i>Salmonella sp</i>	-	-	-	XX	-	-	-	-
<i>Pseudomonas sp</i>	X	-	X	-	-	XX	-	-
<i>Klebsiella sp</i>	-	-	X	x	X	-	X	-
<i>Moraxella sp</i>	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Vibrio sp</i>	-	X	-	-	-	-	-	XX
<i>Enterobacter sp</i>	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Citrobacter sp</i>	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Sphingomonas sp</i>	-	-	-	X	-	-	-	X
<i>Serratia sp</i>	X	-	-	-	-	-	-	-

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga.

4 DISCUSSION

L'analyse des paramètres physicochimiques et des bactéries pathogènes des sites d'échantillonnages prouve que les sites varient très peu entre eux. Les valeurs sont presque de même ordre sur tous les sites; sauf au niveau de la conductivité où on trouve certaines variations. Ces paramètres sont importants à savoir dans une étude bactériologique car la plupart d'entre eux seraient en relation directe avec la communauté microbienne dans un écosystème aquatique. La température ne varie pas d'un site à l'autre. Elle est très proche de 25°C sur les sites du versant de la Rivière Ruzizi que ceux du bassin de Bukavu au Lac Kivu. La saison expliquerait cette tendance relative de la température car l'échantillonnage a été effectué en saison sèche. Selon Alemad (2010), la température s'accompagne de la modification de densité, de la réduction de la viscosité, de l'augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Elle favoriserait la mortalité de certaines espèces et le développement des autres.

Le pH est basique sur tous les sites; ses valeurs oscillent entre 8,5 et 9. Dans les rivières (Kahuwa, Tshula, Bwindi, Weshu) des valeurs très proches à celles obtenues dans nos sites d'échantillonnage ont été trouvées aussi bien en saison sèche qu'en saison de pluie par Lina (2016). Baok (2007) montre que le pH contrôle les vies aquatiques et régule le processus d'épuration dans le plan d'eau.

La salinité est presque la même sur tous les sites prospectés, sa concentration est très moins élevée sur tous les sites. Les concentrations élevées d'O₂ dissous peuvent justifier cette diminution de concentration de salinité. L'O₂ dissous varie très peu sur tous les sites d'échantillonnage. Sa valeur est élevée sur tous les sites. La concentration élevée en O₂ dissous est dû à la croissance du phytoplancton qui libère plus d'oxygène pendant la journée (Mokdadi, 2015). Selon Véronique (2015), la teneur en O₂ dissous dépend de la vitesse de transfert d'oxygène à l'interface eau/air, de la photosynthèse (algues et plantes aquatiques) et de la cinétique de dégradation bactérienne. Mais les sources d'oxygène sont diverses: apport par l'aval ou les affluents, la photosynthèse favorisant l'aération.

L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération car il renseigne d'une part sur l'état d'un écosystème aquatique et d'autre part il favorise la croissance des microorganismes qui dégradent les matières organiques. En général, les valeurs faibles de l'oxygène dissous favorisent le développement des germes pathogènes (Belghiti, 2013). La conductivité varie selon les sites d'échantillonnage; elle est élevée dans tous les sites d'échantillonnage sauf à Hewa Bora et au Bassin du Collège où on trouve des valeurs moins élevées. A Hewa Bora, cette diminution de la conductivité peut être due au mélange des eaux avec le collecteur de Luziba. Au bassin du Collège, la diminution de la conductivité se justifierait par l'éloignement des activités anthropiques.

Selon Belghiti (2013), la conductivité dépend des charges de matières organiques endogènes et exogènes, génératrices de sels après décomposition et minéralisation. Selon Rodier (2005), les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs et les rivières. S'ils dépassent les normes ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes et la détérioration de goût et l'apparition de coloration. Nous n'avons pas pu malheureusement l'évaluer au cours de nos investigations.

En ce qui concerne les paramètres bactériologiques, les résultats montrent que le nombre des colonies varie d'un milieu de culture à un autre. Ces derniers, ayant chacun sa composition chimique, font pousser différemment les colonies. Parmi ces milieux de culture, c'est sur le PCA où nous avons plus de colonies et sur l'ECA où on en a moins. Prescott et al. (2003), qualifie les milieux de culture comme étant une préparation solide ou liquide, utilisée pour faire croître, pour transporter et conserver des microorganismes. Un bon milieu de culture doit contenir tous les nutriments dont les microorganismes ont besoin pour se développer.

La corrélation entre les paramètres physico chimiques et bactériologiques est positive partout. Cela veut dire que pour étudier la bactériologie, nous devons toutefois l'associer avec la physicochimie et vice versa. La forte corrélation s'observe entre la conductivité et tous les paramètres bactériologiques. Mais la composition de la flore bactérienne dépend de plusieurs facteurs dont les charges organiques et minérales, le pH, la turbidité, la température... Le mélange et le mouvement des éléments nutritifs, de l'oxygène et des déchets qui se produisent dans les eaux douces et marines sont les facteurs dominants contrôlant la communauté microbienne aquatique.

Dans l'eau, les bactéries sont des agents de contamination et de pollution, la matière organique étant disponible pour les bactéries anaérobies qui libèrent alors des gaz nauséabonds et toxiques ainsi que des produits chimiques variés provenant des diverses fermentations. Ces bactéries peuvent empêcher la sédimentation des boues au niveau de Station d'épuration (Prescott et al., 2003).

Nos résultats montrent que le nombre des colonies sur les différents milieux de culture varie d'un site à l'autre. Dans tous les sites, il y a présence de colonies sur le McConkey, le PCA et PA. Ces derniers correspondent respectivement aux colonies des coliformes fécaux, la FMAT et les *Pseudomonas sp.* Les concentrations les plus élevées s'observent à ELAKAT, Hewa Bora,

Kahuwa et Honga. On peut traduire ces résultats par la présence des décharges domestiques et des déchets de certains habitats situés au voisinage de ces sites ainsi que les écoulements des fosses septiques. La même justification a été signalée dans les rivières Tshula, Bwindi, Kahuwa et Weshu (Lina, 2016).

Ces résultats concordent avec ceux de la rivière Kahuwa et Lwiro dans la région tropicale (Bagalwa, 2006; Bagalwa et al., 2013) où les valeurs dépassant les normes pour les eaux courantes ont été enregistrées dans certains échantillons (WHO, 2003). A ELAKAT à part les déchets sauvages, il y a aussi un abattoir qui déverse leurs déchets dans la rivière. D'après Chuku et al. (2017), les fortes densités de streptocoques fécaux observées dans les cours d'eau de Ngaoundéré au Cameroun sont probablement les conséquences respectives de l'abattoir municipal de la ville. Quant aux coliformes totaux, ils existent dans les matières fécales de l'homme et de l'animal et peuvent également se développer dans certains milieux naturels (sol, végétation). Leur absence ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas de risque pathogène (Abdis et al., 2013). Par ailleurs, les coliformes fécaux sont les plus importants des paramètres microbiologiques pris en compte dans le contrôle de la qualité des eaux et leurs présences sont suffisantes à confirmer qu'il y a effectivement une pollution fécale (Mokdadi, 2015).

La concentration élevée de *Pseudomonas sp* pourrait être expliquée par une pollution fécale d'origine animale et humaine (fosse septique, élevage de bétails, utilisation des déchets des animaux comme fertilisants pour la terre agricole avoisinant les sites (Belghiti, 2013). Selon Bengoumi et al. (2015) les colonies de la FMAT qui poussent sur le PCA à 37°C sont des indicateurs de pollution bactérienne; celle-ci étant d'origine intestinale (humaine et animale). Les concentrations les moins élevées se trouvent au niveau de la baie de Nyofu, de Mushununu, du Barrage Ruzizi I et du Bassin du Collège. Cette diminution d'UFC semble proportionnelle à la distance de ces sites avec les activités anthropiques.

Certains de nos sites d'échantillons présentent des différences significatives telles que Mushununu et Barrage Ruzizi. Même s'ils se trouvent dans un même écosystème qui est la rivière Ruzizi, ceci peut se justifier par le fait que de l'amont à l'aval, le milieu change. Hewa Bora et Honga sont significativement différents à ELAKAT, cette situation est due aux raisons évoquées ci-dessus concernant Mushununu et Barrage Ruzizi I. La différence significative de Honga et ELAKAT s'expliquerait par le fait que les deux sites se trouvent dans des écosystèmes différents; dans le lac Kivu et dans la Ruzizi respectivement.

Parmi les milieux de culture qu'on a utilisée, certains donnent des résultats similaires comme le SS Agar et McConkey qui peuvent être utilisés pour les mêmes fins. Le PCA et le PA donnent aussi des résultats similaires et ont fait pousser plus de colonies que les autres milieux de culture. La similarité des résultats se traduit aussi par le nombre des colonies qui se sont développées sur ces milieux.

Dans notre recherche nous avons pu identifier dix genres potentiellement pathogènes (Tableau 10). Les germes d'origine fécale peuvent être recherchés pour confirmer le danger mis en évidence par leur présence, ainsi que d'autres germes d'origine non fécale dont le risque ne peut être mis en évidence que par la recherche des germes pathogènes tels que *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*... Ces germes sont souvent présents en faibles concentrations dans l'eau et peuvent se développer en culture (Abdis et al., 2013).

5 CONCLUSIONS

Cette étude donne une base d'informations sur la qualité bactériologique des eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans la ville de Bukavu. Nous avons échantillonné sur 8 sites dont 4 sites (Mushununu, Barrage Ruzizi, ELAKAT, Hewa Bora) dont les eaux se déversent dans la rivière Ruzizi et 4 autres sites (Kahuwa, Baie de Nyofu, Honga et Bassin du Collège) dans le lac Kivu. Nous avons prélevé les paramètres physicochimiques (température, pH, salinité, conductivité, oxygène dissous) et bactériologiques sur chaque site. Les résultats obtenus ont montré que les paramètres physicochimiques varient peu d'un site à l'autre. La température est presque la même sur tous les sites, le pH est basique partout, tous les sites d'échantillonnage présentent une salinité très basse tandis que l'oxygène dissous y est élevé. Quant à la conductivité, elle est élevée sur tous les sites sauf au Bassin du Collège et à Hewa Bora.

En ce qui concerne la bactériologie, nous avons utilisé 5 milieux de culture universels (PCA, PA, SS Agar, McConkey, ECA) et 3 milieux sélectifs (Simmons Citrate Agar, Kigler Iron Agar, SIM). Les résultats montrent que les colonies poussent différemment sur les milieux de culture universels; avec des valeurs maximales enregistrées sur PCA et PA, tandis que les valeurs moyennes sont enregistrées sur SS Agar et McConkey. En revanche, les valeurs minimales sont enregistrées sur ECA. Ainsi, le PCA et le PA sont similaires, de même que le SS Agar et le McConkey. L'ECA ne présente aucune similarité avec d'autres milieux de culture. Nous avons remarqué que le nombre des colonies sur les milieux de culture varie d'un site à l'autre. Nous nous retrouvons avec plus d'unités formatrices de colonies (UFC) au niveau d'ELAKAT, Hewa Bora, Kahuwa, Honga et moins des UFC au niveau au Baie de Nyofu, à Mushununu, au barrage Ruzizi et au Bassin du Collège. Les densités d'UFC sont très élevées aux sites où les décharges sauvages sont très intenses; suggérant que les activités anthropiques sont la cause majeure de dégradation de la qualité des eaux douces à Bukavu.

Certains de nos sites d'échantillonnage sont significativement différents selon qu'ils se trouvent soit en amont (Mushununu) soit en aval (Barrage Ruzizi) de la rivière. Leur différence significative s'observe aussi selon qu'ils se trouvent dans des écosystèmes différents (Honga et ELAKAT). Nous sommes parvenus à identifier 10 genres potentiellement pathogènes repartis sur chaque site d'échantillonnage. Des mesures de réduction des effets anthropiques sur ces sites seraient un moyen pour réduire la dégradation de nos deux écosystèmes aquatiques (lac Kivu et Rivière Ruzizi) ainsi que les risques pathogènes de ces rivières sur la Ruzizi et le lac Kivu.

Les résultats de ce travail constituent pour les autorités Urbaines des données de base susceptibles d'être exploitées dans le cadre de l'amélioration de la qualité des eaux du lac Kivu et des rivières de la ville de Bukavu.

REFERENCES

- [1] Abdis, Merzoug S, Tabouche K, Maazi M. et Houhamdi M. 2013: Evaluation de la qualité des eaux du complexe de guerbessanhadja (Wilaya de Skikda-Nord en Algérie).
- [2] Aguiza, E.A., Auguste, O., Martin, B.N., et MBAWALA, A., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun. *Afrique SCIENCE* 10 (4) (2014) 135 - 145.
- [3] Aina M. et Matejka G. 2003: Paramètres d'évaluation des impacts environnementaux des dépôts et des centres de stockage de déchets dans les pays en développement.
- [4] Alemad, A. 2010: Etude de la qualité physico chimiques et bactériologiques des eaux de la Nappe Maamora Kénitra-Maroc.
- [5] Amorce, 2012: Effets sanitaires liés à la gestion des déchets ménagers et assimilés.
- [6] Asceas, 2008: Assainissement et valorisation des déchets ménagers au Burkina Faso; Univ. de Genève, Pole des Sciences de l'environnement, unité d'Evaluation d'impact sur la santé.
- [7] Baok G, 2007. Pollution des eaux des rivières et impact sur les populations riveraines, cas de la rivière Mgoua dans la zone industrielle de Douala-Bassa. Mémoire online. Université de Dchang-FASA. Option Environnement.
- [8] Bagalwa M, Mwanjalolo M, Nachigera M, Karume K, 2011. Estimation of transported pollutant loads from small urban Kahuwa river micro-catchment in Lake Kivu, DR Congo.
- [9] Bagalwa. M., M., K. Karume, N.G. Mushagalusa, K. Ndegeyi, M. Biral, N. Zirirane, Z. Masheka et C. Bayongwa., 2013; Risques potentiels des déchets domestiques sur la santé des populations en milieu rural; Cas d'IrhambiKatana (Sud-Kivu, R.D.Congo).
- [10] Belghti L, Chahlaoui A, Bengoumi D, El Moustaine R. 2013: Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc).
- [11] Bercky M. 2012. Gestion des déchets hospitaliers dans la ville de Bukavu en République Démocratique du Congo. Mémoire de master en Science de l'environnement, UEA.
- [12] Bengoumi D, Chahlaoui A, Belghti L, Taha I, Samih M, El Moustaine R. 2015. Etude de la qualité bactériologique de l'eau de puits dans les élevages avicoles (Meknes et Gharb- Maroc).
- [13] Gevaerts H.1985. *Biologie Générale* v fr Ed.Bordas, Paris université de Kisangani.
- [14] Chuku, E. C. et Aggrey, H., 2017. Fungi Associated with Seeds of *Irvingia gabonensis* and their Effect on Shelf Life. Department of Plant Science and Biotechnology, Rivers State University. *International Journal of Agriculture and Earth Science* Vol. 3 No. 8.
- [15] Emmanuel A, Augustin O, Martin B, Augustin M. 2014. Suivre de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré au Cameroun. Environnement Canada, Agriculture Canada, Santé et Bien-être social Canada et Ministère de l'environnement de l'Ontario, 1985. L'épandage des eaux usées traitées et des boues d'épuration d'origine urbaine. Guide N° SPE 6-EP-84-1. Environnement Canada, Service de protection de l'environnement. 190p.
- [16] Lina A. L, 2016. Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, RD Congo, thèse de doctorat, Université de Liège, Arlon, Belgique, 212p.
- [17] Mokdadi H, 2015: Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des quelques zones humides de la wilaya d'El-Oued (Cas des lacs Ayata, chott Marouan, Sif El-Menadi et chott Halloufa), mémoire online, MSc biologiques, Biochimie appliquée.
- [18] Prescott L, Harley J, Kleivin D, 2003: *Microbiologie*. Université de Liège. 2ème éd Française.
- [19] Ranjonson J, Rasolofonirina N, Ratoaveloson J, Ravaonindriana N, 1992: Qualité des eaux, à Antananaviro, à Madagascar.
- [20] Rodier J., 2005. Analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de mer.
- [21] Rodier, J., 1996. L'analyse de l'eau: eaux naturelles- eaux résiduaires- eau de mer. Dunod. 8ème édition 1996. EAN13: 9782100024162, 1385 p.
- [22] Veronique, B., 2015. Systematic Review: Mechanisms of Dietary Heme Iron Intake in Colorectal Cancer: Volume 114: Red Meat and Processed Meat – Call for Data – Systematic Review: Mechanisms of Dietary Heme Iron Intake in Colorectal Cancer.p1-17.
- [23] Vial. J.Ph., 1983. Strong and weak convexity of sets and functions. *Mathematics of Operations Research*, 8: 231–259, 1983.
- [24] WHO, 2003: Guidelines for drinking water quality? (Geneva, WHO/SDE/WSH.03-04).

