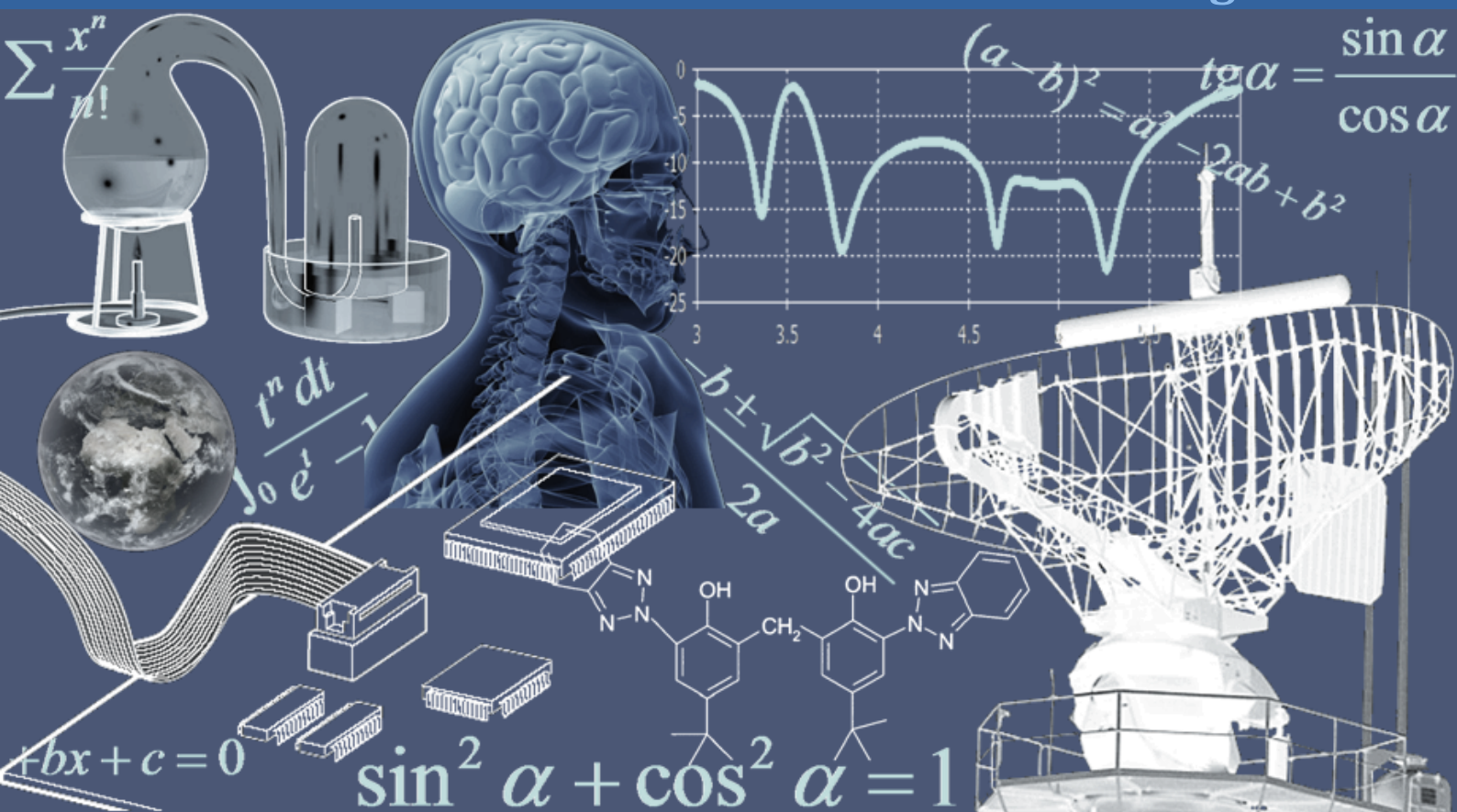


# INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 46 N. 2 August 2025



International Peer Reviewed Monthly Journal



## ***International Journal of Innovation and Applied Studies***

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceuticals, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

## ***Editorial Advisory Board***

**Amir Samimi**, Ph.D. of Science in Chemical engineering, Process Engineer & Risk Specialist of Oil and Gas Refinery Company, Iran  
**Mahsa Ja'fari**, Department of Chemical Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran  
**Alin Velea**, Paul Scherrer Institute, Switzerland  
**Kamyar Hasanzadeh**, Aalto University, Finland  
**Ogbonnaya N. Chidibere**, University of East Anglia, United Kingdom  
**Oumair Naseer**, University of Warwick, United Kingdom  
**Wei Zheng**, University of Texas Health Science Center at San Antonio, USA  
**Hu Zhao**, University of Southern California, USA  
**Haijian Shi**, Kal Krishnan Consulting Services, Inc, USA  
**Syed Ainul Abideen**, University of Bergen, Norway  
**Malika Maataoui**, Mohammed V University, Morocco  
**Fabio De Felice**, University of Cassino and Southern Lazio, Italy  
**Giovanni Leonardi**, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy  
**Siham El Gouzi**, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Spain  
**Mohamed KOSSAÏ**, European Business School EBS Paris, France  
**Mustafa Batuhan AYHAN**, Marmara University, Turkey  
**Andrzej Klimczuk**, Warsaw School of Economics, Poland  
**Corinthias P. M. Sianipar**, Tokyo University of Science, Japan  
**Irfan Jamil**, Sinohydro Engineering, China  
**Sukumar Senthilkumar**, Chonbuk National University, South Korea  
**Bratu (Simionescu) Mihaela**, Bucharest University of Economic Studies, Romania  
**Mirela Maria Codescu**, National Institute for R&D in Electrical Engineering ICPE-CA, Romania  
**Milen Zamfirov**, St. Kliment Ohridski Sofia University, Bulgaria  
**Svetoslava Saeva**, Neofit Rilski South-West University, Bulgaria  
**Dimitris Kavroudakis**, University of the Aegean, Greece  
**Vaitsa Giannouli**, Aristotle University of Thessaloniki, Greece  
**Nataša Pomazalová**, Mendel University in Brno, Czech Republic  
**Hazem M. Shaheen**, Damanhour University, Egypt  
**Shalini Jain**, Manipal University Jaipur, India  
**Amin Jula**, National University of Malaysia, Malaysia  
**Mahdi Moharrampour**, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran  
**Ricardo Rodriguez**, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico  
**Yuniel E. Proenza Arias**, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba  
**Elizabeth Bissell Miller**, University of Missouri, Columbia  
**Bertin Désiré SOH FOTSING**, University of Dschang, Cameroon  
**Antonella Petrillo**, University of Cassino and Southern Lazio, Italy  
**Hong Zhao**, The Pennsylvania State University, USA  
**Jianjun Chen**, The University of Chicago, USA  
**Shaju George**, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain  
**Chandrasekaran Subramaniam**, Kumaraguru College of Technology, India  
**Ilango Velchamy**, New Horizon College of Engineering, India  
**M. Kumaresan**, M.P.N.M.J. Engineering College, India  
**Mohammad Valipour**, University of Tehran, Iran  
**Mohameden Sidi El Vally**, King Khalid University, KSA  
**Mona Hedayat**, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA  
**Suresh Kumar Alla**, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA  
**Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari**, Babylon University, Iraq  
**Aziz Ibrahim Abdulla**, Tikrit University, Iraq  
**Khalid Mohammed Shaheen**, Technical College of Mosul, Iraq  
**Baskaran Kasi**, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia  
**Nurul Fadly Habidin**, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia  
**Adnan Riaz**, Allama Iqbal Open University, Pakistan  
**Syed Noor Ul Abideen**, KPK Agricultural University, Pakistan  
**Arab Karim**, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria  
**Zoubir Dahmani**, UMAB University of Mostaganem, Algeria  
**Mohsen Brahmi**, Sfax University, Tunisia  
**Mongi Besbes**, University of Carthage, Tunisia  
**Mai S. Mabrouk**, Misr University for Science and Technology, Egypt  
**Olfat A Diab Kandil**, Misr University for Science and Technology, Egypt

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

## Table of Contents

Aplicación de patrones de interacción en componentes sobre Storybook y su impacto en la deuda técnica en proyectos web	146-152
<i><u>Jonathan Delgado Guerrero, Yuliana León Bazan, and Christopher Crespo León</u></i>	
Contamination des champignons toxigènes rencontrés dans l'alimentation animale, dans la région de Maradi: Etats des lieux et perspectives des traitements	153-164
<i><u>Rabiou Abdou Mamane Ousseini, Akourki Adamou, Maman Moustapha Rabiou, Sidikou Idrissa Djibo, Karim Saley, and Saidou Hassidou</u></i>	
Adaptation of a double hopper seeder for the improvement of cowpea productivity ( <i>Vigna unguiculata</i> ) in Niger: Case of the Maradi and Zinder regions	165-174
<i><u>Abdoulahi Mamane, Arifa Warouma, Saidou Addam Kyari, and Jens Bernt Aune</u></i>	
L'informatique comme outil et support pour l'optimisation de l'environnement des affaires: Regard sur les petites entreprises privées et informelles	175-182
<i><u>Omatete Okitodinga Jacques, Shungu Ya Shungu Jacques, Lokoto Dungu Junior, and Nasibu Amisibo Fiston</u></i>	
Examining the environmental impact of mining activities using life cycle assessment (LCA): A case study of the Kiniero gold mine (Semafo) in Guinea	183-196
<i><u>Bintou Konaté, Adama OUARTARA, Narcisse Eboua Wandan, Koimbla Francine Josée Kouacou, and Koffi René Donga</u></i>	
Petroleum system characterization of the northeastern edge of the Termit Basin, eastern Niger: The case of the Boul prospect	197-218
<i><u>Boubé Hamani, Moussa Konaté, and Ismaila Mahamidou Alfazazi</u></i>	
CONTRIBUTION A L'ETUDE CARTOGRAPHIQUE ET TECTONIQUE DE LEMBA ET SES ENVIRONS (SECTEUR DE PATU, PROVINCE DU KONGO CENTRAL)	219-235
<i><u>Kahindo Katoto Danielle, Serge Diemo, NGURU MAHA Esther, BONDO KAZADI Emmanuel, TSASA MABIALA Bibiche, Ngumba Ngumba Victoire, Solange KAZI KATYA, LAKUBU ESAS Patrick, and WEBANA BANAKPO Mireille</u></i>	
CONTRIBUTION A L'ETUDE PETROGRAPHIQUE DE LEMBA ET SES ENVIRONS (SECTEUR DE PATU, PROVINCE DU KONGO CENTRAL)	236-258
<i><u>Kahindo Katoto Danielle, Serge Diemo, NGURU MAHA Esther, BONDO KAZADI Emmanuel, TSASA MABIALA Bibiche, Solange KAZI KATYA, Kazadi Mujinga Stella, LAKUBU ESAS Patrick, and WEBANA BANAKPO Mireille</u></i>	
Physical and psychological disorders in elderly people residents of social welfare institutions: Field study in the cities of Safi and Settat, Morocco	259-265
<i><u>Fatima FAOUZI, Mohammed IDMOULID, and Ahmed ELBOUZZAOUI</u></i>	
Efficacité du biopesticide Astoun 50 EC sur <i>Prosoestus minor</i> et <i>Prosoestus sculptilis</i> (Coleoptera: Curculionidae), ravageurs des inflorescences femelles et son impact sur <i>Elaeidobius camerunicus</i> (Coleoptera: Curculionidae), principal pollinisateur du palmier à huile ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en Côte d'Ivoire	266-276
<i><u>Atta Kouamé Jean-Claude Yao, Assié Nin Hauverset N'Guessan, Bossoma Danielle Anougba, Ossey Robert N'Depo, Ekra Kouamé Tano, N'Klo Hala, and Dessan Obed Gogoue</u></i>	

## Aplicación de patrones de interacción en componentes sobre Storybook y su impacto en la deuda técnica en proyectos web

### [ Application of interaction patterns to Storybook components and their impact on technical debt in web projects ]

*Jonathan Delgado Guerrero<sup>1-2</sup>, Yuliana León Bazan<sup>3</sup>, and Christopher Crespo León<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>SENESCYT, Guayaquil, Guayas, Ecuador

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study focuses on technical debt in web development, specifically how the early adoption of Storybook can mitigate this challenge. Our research used a mixed-methods approach, combining quantitative data on code quality and technical debt metrics with a qualitative case study involving three development teams. Storybook is a powerful tool for designing components with well-defined interaction patterns. By integrating these practices, it not only improves software quality and maintainability but also aids work in agile development environments. Technical debt often arises when teams create components with deficient interaction patterns; however, Storybook enables programmers to build components with consistent interaction patterns, which increases productivity and minimizes errors. In summary, the findings strongly suggest that integrating atomic design principles with interaction patterns and specialized tools like Storybook optimizes development processes, enhances technical debt management, and leads to the creation of more resilient and effective software.

**KEYWORDS:** Atomic design, interaction patterns, technical debt web projects.

**RESUMEN:** Este estudio se enfoca en la deuda técnica en el desarrollo web, centrándose en cómo la adopción temprana de Storybook puede mitigar este desafío. La investigación empleó un enfoque de métodos mixtos, combinando datos cuantitativos sobre la calidad del código y métricas de deuda técnica con un estudio de caso cualitativo en tres equipos de desarrollo. Storybook es una herramienta potente para diseñar componentes con patrones de interacción bien definidos. Al integrar estas prácticas, no solo se mejora la calidad y mantenibilidad del software, sino que también se ayuda al trabajo en entornos de desarrollo ágiles. La deuda técnica a menudo surge cuando los equipos desarrollan componentes con patrones de interacción deficientes; sin embargo, Storybook permite a los programadores crear componentes con patrones de interacción consistentes, lo que incrementa la productividad y minimiza los errores. En síntesis, las conclusiones sugieren firmemente que la integración de principios de diseño atómico con patrones de interacción y herramientas especializadas como Storybook optimiza los procesos de desarrollo, mejora la gestión de la deuda técnica y conduce a la creación de software más resiliente y efectivo.

**PALABRAS-CLAVES:** Diseño atómico, patrones de interacción, deuda técnica proyectos web.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el desarrollo actual de aplicaciones web, la deuda técnica se ha convertido en un desafío significativo para los equipos de desarrollo. Este término describe el costo acumulado por decisiones rápidas que, a largo plazo, dificultan el mantenimiento y escalabilidad del software. Históricamente, la deuda técnica surge al priorizar soluciones temporales sobre prácticas óptimas desde el inicio [1]. Este problema se agrava en entornos sin un enfoque estructurado para el diseño y creación de componentes, lo que aumenta la complejidad del código y reduce la calidad del producto final [2]. En este contexto, surge la pregunta de investigación: ¿puede la implementación temprana de herramientas como Storybook, que facilitan la creación de componentes con diseño atómico e integran patrones de interacción, reducir significativamente la deuda técnica en el desarrollo de aplicaciones web? Este trabajo explora esta cuestión, buscando conectar la adopción de metodologías de diseño atómico con la reducción de deuda técnica mediante la reutilización de componentes y una mejor colaboración entre desarrolladores. Un objetivo clave es evaluar la efectividad de Storybook como herramienta de desarrollo y como recurso para promover prácticas que aseguren la sostenibilidad del código a largo plazo, especialmente mediante la integración de patrones de interacción en componentes atómicos. Comprender cómo estas herramientas disminuyen la deuda técnica puede guiar a los desarrolladores hacia estrategias más efectivas [3], ofreciendo pautas prácticas para optimizar los procesos de desarrollo.

## 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

La evolución del software ha impulsado la búsqueda de métodos que mejoren la calidad del código y reduzcan la deuda técnica. Storybook, una herramienta que permite crear y visualizar componentes aislados alineados con el diseño atómico, fomenta interfaces modulares, facilitando la reutilización y organización del desarrollo [4], [5]. Además, Storybook posibilita la integración de patrones de interacción en estos componentes, mejorando la consistencia y la experiencia del usuario. La deuda técnica, entendida como decisiones de diseño y programación que generan problemas a largo plazo pese a su utilidad inicial, es un reto constante. Implementar estas herramientas desde el inicio podría mitigarlo, justificando la necesidad de estudiar su efectividad. Estudios previos [6], [7], [8] han analizado cómo prácticas ágiles y diseño basado en componentes reducen la deuda técnica, aunque suelen centrarse en herramientas o metodologías específicas, no en la integración temprana de componentes atómicos con patrones de interacción. La literatura destaca que una estructura sólida de componentes genera código más limpio y mejora la colaboración entre diseñadores y desarrolladores, reduciendo malentendidos que incrementan la deuda técnica [9]. Otros trabajos abordan la deuda técnica desde la experiencia del usuario (UXDebt), proponiendo modelos para gestionarla [10]. Sin embargo, la implementación práctica de Storybook en diversos entornos y su impacto en patrones de interacción requieren mayor investigación, dado que la habilidad de los equipos para adoptar estas prácticas varía. El diseño modular, potenciado por herramientas como Storybook, permite desarrollar componentes reutilizables con comportamientos consistentes, reduciendo la complejidad del código [11]. Esto mejora la comunicación y asegura que las decisiones de diseño se trasladen eficazmente a la implementación técnica. No obstante, elegir la herramienta adecuada es crucial, ya que un mal uso puede aumentar la carga de trabajo [12]. Análisis de código muestran que estas herramientas mejoran la documentación y facilitan la integración de nuevas funcionalidades mediante componentes bien definidos. El diseño atómico, con énfasis en patrones de interacción, promueve consistencia visual y mantenibilidad, reduciendo la deuda técnica al desacoplar componentes en lugar de tratar las aplicaciones como bloques monolíticos [13].

## 3 METODOLOGÍA

La deuda técnica refleja decisiones a corto plazo que afectan la calidad y eficiencia del software a largo plazo. Herramientas como Storybook, que apoyan el diseño atómico e integran patrones de interacción, pueden abordar este problema. Este estudio investiga cómo la adopción temprana de Storybook reduce la deuda técnica en aplicaciones web, evaluando su efectividad en el desarrollo de componentes con patrones de interacción definidos y su impacto en la calidad y mantenibilidad del código. Se emplean análisis cuantitativos (métricas de deuda técnica) y cualitativos (estudio de caso sobre la experiencia de los desarrolladores), proporcionando una comprensión clara de la relación entre diseño atómico, patrones de interacción y gestión de la deuda técnica.

### 3.1 CONTEXTO DE APLICACIÓN

La empresa, ubicada en Ecuador y de tamaño mediano, promociona anuncios en medios físicos (revistas) y digitales (portal web), con una base de 12,000 clientes. Ofrece un software para gestionar estadísticas y datos de clientes, sin aplicaciones móviles. Cuenta con departamentos de Sistemas (3 desarrolladores y un líder) y Diseño (3 diseñadores y un jefe), responsables de bocetos y maquetas.

### **3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se analizó un requerimiento de complejidad media, diseñando componentes atómicos con patrones de interacción en Storybook durante dos semanas. SonarQube evaluó la calidad del código (duplicidad, bugs, code smells) [14], comparándolo con un desarrollo previo similar. Un SUS [6] midió la experiencia de los desarrolladores con Storybook.

### **3.3 IMPLEMENTACIÓN DE PATRONES DE INTERACCIÓN EN STORYBOOK**

El enfoque de Storybook basado en componentes permite a los desarrolladores encapsular patrones de interacción dentro de componentes reutilizables. Por ejemplo, un componente de botón con efecto de hover puede definirse con estados estandarizados (predeterminado, hover, activo, deshabilitado) y documentarse en Storybook. Esto asegura que todas las instancias del botón en el proyecto sigan el mismo patrón de interacción, reduciendo inconsistencias.

Desarrollamos una biblioteca de patrones de interacción en Storybook, que incluye:

- Patrón de Validación de Formularios: Asegura un manejo consistente de errores y retroalimentación al usuario en los campos de entrada.
- Patrón de Interacción de Modales: Estandariza el comportamiento de los diálogos modales, incluyendo animaciones de abrir/cerrar y características de accesibilidad.
- Patrón de Menú de Navegación: Implementa un menú responsivo y plegable con estilo y comportamiento consistentes.

Cada patrón fue documentado con guías de uso, consideraciones de accesibilidad y casos de prueba, mejorando la colaboración entre desarrolladores y la reutilización de componentes.

La implementación de patrones de interacción en Storybook ofrece varios beneficios clave:

- Consistencia: Los patrones estandarizados minimizan las variaciones en el comportamiento de los componentes, lo que a su vez reduce los "code smells" (malas prácticas de código).
- Reutilización: Los componentes modulares pueden ser reutilizados en distintos proyectos, disminuyendo la duplicación de código.
- Capacidad de prueba: Al estar aislados, los componentes son más fáciles de probar, lo que mejora la cobertura del código y reduce los defectos.
- Colaboración: La documentación visual de Storybook fomenta una mejor comunicación entre desarrolladores y diseñadores.

### **3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Comparamos dos versiones del proyecto:

- Línea Base: Desarrollada sin la implementación de Storybook, dependiendo de una creación de componentes ad-hoc (según la necesidad del momento).
- Mejorada con Storybook: Esta versión incorporó Storybook junto con sus patrones de interacción.

Las métricas se recopilaron durante un periodo de tres meses, y la retroalimentación cualitativa se obtuvo a través de entrevistas estructuradas y encuestas SUS (System Usability Scale).

### **3.5 MÉTRICAS DE DEUDA TÉCNICA PREVIAS**

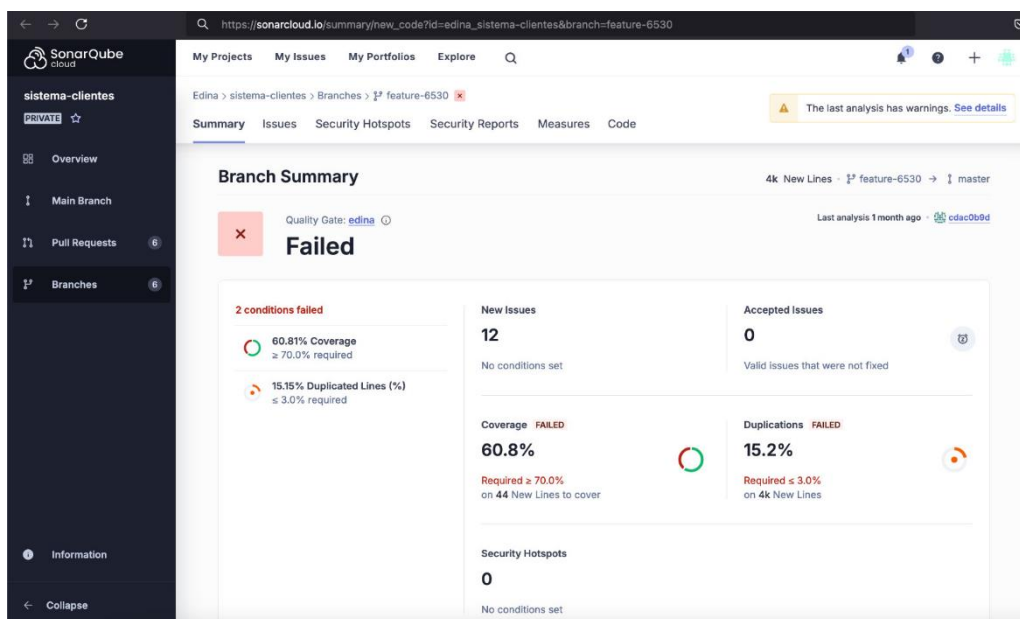
Las métricas de deuda técnica fueron tomadas desde SonarQube enlazado a la rama de desarrollo de una funcionalidad con id feature-6530, como consta en la Imagen 1 [15]. Este desarrollo fue el último previo y que consta de características de complejidad, estimación de tiempo y número de líneas similares (4000) a las de la propuesta que hace uso de storybook. En la misma se evidencian 12 issues (categorizados como code smells), 15.2% de duplicidad de código en comparación con el código de la rama master. También se visualiza una métrica de cobertura de tests que no supera la establecida por el proyecto (70%).

### 3.6 EVALUACIÓN DE USABILIDAD DE STORYBOOK

Se propone la creación de un SUS (System Usability Scale) específico para evaluar el impacto de la adopción temprana de Storybook en la evolución de la deuda técnica en proyectos web [16]. Los ítems están directamente relacionados con cómo Storybook ha influido en la acumulación o reducción de la deuda técnica; la perspectiva del desarrollador sobre el uso de esta herramienta. En la Tabla 1 se detallan las preguntas de evaluación propuestas.

**Tabla 1. Preguntas SUS para evaluar usabilidad de Storybook**

		Total desacuerdo				Muy de acuerdo
		1	2	3	4	
1	Storybook me ayudó a mantener un código más limpio y consistente a lo largo del proyecto.					
2	Gracias a Storybook, fue más fácil identificar y corregir problemas de diseño antes de que se convirtieran en una deuda técnica mayor.					
3	Considero que Storybook ha reducido significativamente la deuda técnica acumulada en este proyecto.					
4	Storybook me permitió desarrollar componentes de manera más aislada, lo que facilitó su mantenimiento y redujo la deuda técnica.					
5	La adopción temprana de Storybook hizo que fuera más fácil realizar cambios en la interfaz de usuario sin introducir nueva deuda técnica.					
6	Storybook me ayudó a comprender mejor la estructura del proyecto y a detectar posibles áreas de deuda técnica.					
7	Creo que Storybook es una herramienta valiosa para prevenir la acumulación de deuda técnica a largo plazo.					
8	Storybook facilitó la colaboración entre diseñadores y desarrolladores, lo que redujo el riesgo de introducir deuda técnica por malentendidos.					
9	Gracias a Storybook, pude entregar funcionalidades más rápido y con menor deuda técnica.					
10	Considero que Storybook es una herramienta esencial para cualquier proyecto que busque minimizar la deuda técnica.					

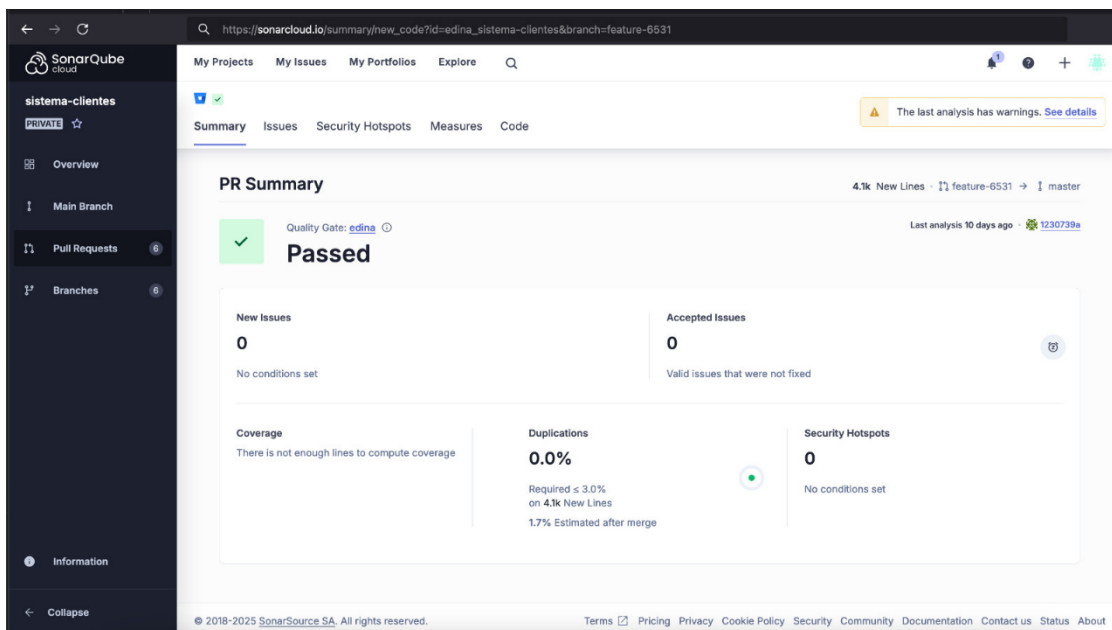


**Fig. 1. Deuda técnica de la rama feature-6530 usando SonarQube (sin storybook)**

## 4 RESULTADOS

El uso temprano de Storybook, con su enfoque en componentes atómicos y patrones de interacción, mejora significativamente la calidad del código al facilitar la creación y prueba de componentes consistentes. Se observaron menos errores y una mejor colaboración entre diseño y desarrollo, destacando la importancia de un diseño sistemático para evitar la deuda técnica. Comparado con desarrollos sin Storybook, se redujeron los problemas de código y la duplicidad, gracias a la

reutilización de componentes con patrones de interacción definidos. Usar herramientas como Storybook, que ayuda a crear componentes con un diseño atómico, se ha mostrado como una buena solución para estos problemas desde el inicio del desarrollo. Los resultados de esta investigación muestran que usar Storybook de forma temprana mejora mucho la calidad del código, ya que hace más fácil la creación y prueba de componentes de forma ordenada y clara. También se notó menos errores de implementación y mejor colaboración entre equipos de diseño y desarrollo, lo que refuerza que planificar y diseñar bien es crucial para evitar la deuda técnica en software, como se evidencia en la Imagen 2. La investigación destaca que fortalecer la colaboración entre diseñadores y desarrolladores, junto con un enfoque sistemático hacia el diseño y la documentación, puede ser clave para que proyectos de software ambiciosos tengan éxito.



**Fig. 2. Deuda técnica de la rama feature-6531 usando SonarQube (con storybook)**

Si realizamos una comparación con los valores previos obtenidos del desarrollo sin la aplicación de storybook se evidencia una mejora en los números de issues y la duplicidad del código, gracias a la reutilización de componentes que posibilita el uso de Storybook complementado con el diseño atómico de los componentes visuales. En la Tabla 2 se resumen estos valores obtenidos.

**Tabla 2. comparativa de deuda técnica entre feature-6530 y 6531**

Característica	# Issues (Olores de código)	% Cobertura de código	% Duplicación de código	Descripción
feature-6530	12	60.8%	15.20%	Esta característica presenta un número moderado de problemas de código (code smell), lo que podría indicar áreas de mejora en la calidad del código. La cobertura de código es algo baja, sugiriendo que una parte significativa del código no está cubierta por pruebas unitarias. Además, hay un porcentaje considerable de código duplicado, lo que podría indicar oportunidades para refactorizar y mejorar la mantenibilidad del código.
feature-6531	0	70%	0%	Esta característica presenta un estado de código muy bueno. No se han detectado problemas de código, la cobertura de código es alta, lo que indica una buena confianza en el código, y no hay duplicaciones, lo que sugiere un código bien estructurado y mantenido.

La evaluación de la usabilidad de Storybook a través de la escala SUS arrojó una puntuación de 87.5, lo que indica una alta satisfacción por parte de los 3 desarrolladores. Los resultados muestran un alto nivel de acuerdo en cuanto a la capacidad de Storybook para mantener un código limpio y consistente, así como para reducir la deuda técnica. En particular, los ítems relacionados con la colaboración entre equipos y la agilidad en el desarrollo obtuvieron las puntuaciones más altas. Estos hallazgos sugieren que Storybook es una herramienta valiosa para mejorar la calidad del código y la eficiencia en proyectos similares. Se recomienda explorar la implementación de Storybook en otros proyectos para obtener beneficios similares.

## **5 DISCUSIÓN**

Este estudio demuestra que la implementación temprana de Storybook, enfocada en patrones de interacción en componentes atómicos, reduce la deuda técnica en proyectos web. Mejora la calidad del código, disminuye errores y fortalece la colaboración entre equipos. Sin embargo, se limita a un caso específico con un equipo mediano, y no aborda rendimiento ni escalabilidad. Futuras investigaciones deberían explorar diversos contextos, el impacto de los patrones de interacción en la experiencia del usuario y la combinación de Storybook con otras herramientas.

## **6 CONCLUSIONES**

El presente trabajo ha ayudado a entender el impacto de usar herramientas como Storybook desde el inicio en la reducción de la deuda técnica en el desarrollo de aplicaciones web. Se han tratado temas importantes como el diseño atómico, la mejora del código y el trabajo en equipo. Al responder al problema de investigación, se ha evidenciado que usar Storybook no solo ayuda a manejar mejor los componentes de software, sino que también reduce la aparición de errores y la deuda técnica a lo largo del desarrollo. Sin ser resultados concluyentes, para el futuro se sugiere que se realicen más investigaciones sobre la efectividad de Storybook en diferentes contextos y tamaños de proyectos, así como la integración de nuevas tecnologías que complementen su uso. También se recomienda investigar la experiencia del usuario y el efecto en los tiempos de entrega de proyectos cuando Storybook se implementa a gran escala.

## REFERENCIAS

- [1] L. F. S. Vázquez y M. J. C. P. Arriaga, «Defectos de diseño y su impacto en la deuda técnica», *AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA APLICADA*, p. 11.
- [2] L. A. Rosser y J. H. Norton, «A systems perspective on technical debt», en *2021 IEEE Aerospace Conference (50100)*, IEEE, 2021, pp. 1-10.
- [3] M. Siavvas, D. Tsoukalas, M. Jankovic, D. Kehagias, y D. Tzovaras, «Technical debt as an indicator of software security risk: a machine learning approach for software development enterprises», *Enterprise Information Systems*, vol. 16, n.º 5, p. 1824017, 2022.
- [4] S. Handal, C. Koo, y O. Adelakun, «Design systems implementation for digital transformation: a case study», en *International Conference on Information Technology & Systems*, Springer, 2022, pp. 42-51.
- [5] T. Nummela, «Using Storybook.js for component-driven design system web development», 2024.
- [6] C. Hernández-Nieto, X. Sánchez, y P. Salinas, «A Mobile First Approach for the Development of a Sustainability Game», *Procedia Computer Science*, vol. 75, pp. 182-185, ene. 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.12.236.
- [7] H. Saeeda, M. O. Ahmad, y T. Gustavsson, «Exploring Process Debt in Large-Scale Agile Software Development For Secure Telecom Solutions», en *Proceedings of the 7th ACM/IEEE International Conference on Technical Debt*, 2024, pp. 11-20.
- [8] G. Soares *et al.*, «Investigating how agile software practitioners repay technical debt in software projects», en *Proceedings of the XXI Brazilian Symposium on Software Quality*, 2022, pp. 1-10.
- [9] A. Chiddarwar, «TOOLS AND TECHNIQUES FOR MANAGING TECHNICAL DEBT», 2024.
- [10] L. Denuzière, E. Rodriguez, y A. Granicz, «Piglets to the rescue: Declarative User Interface Specification with Pluggable View Models», en *Proceedings of the 25th symposium on Implementation and Application of Functional Languages*, en IFL '13. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, ago. 2013, pp. 105-115. doi: 10.1145/2620678.2620689.
- [11] R. Lanciaux, *Modern Front-end Architecture: Optimize Your Front-end Development with Components, Storybook, and Mise en Place Philosophy*. Springer, 2021.
- [12] D. A. d'Aragona, F. Pecorelli, M. T. Baldassarre, D. Taibi, y V. Lenarduzzi, «Technical debt diffuseness in the apache ecosystem: A differentiated replication», en *2023 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*, IEEE, 2023, pp. 825-833.
- [13] B. Frost, *Atomic Design*. Brad Frost Web, 2016.  
[En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=1e92vgAACAAJ>.
- [14] G. A. Campbell y P. P. Papapetrou, *SonarQube in Action*, 1st ed. USA: Manning Publications Co., 2013.
- [15] D. Pina, A. Goldman, y C. Seaman, «Sonarlizer xplorer: a tool to mine github projects and identify technical debt items using sonarqube», en *Proceedings of the International Conference on Technical Debt*, 2022, pp. 71-75.
- [16] P. Vlachogianni y N. Tselios, «Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review», *Journal of Research on Technology in Education*, vol. 54, n.º 3, pp. 392-409, 2022.

## Contamination des champignons toxigènes rencontrés dans l'alimentation animale, dans la région de Maradi: Etats des lieux et perspectives des traitements

### [ Contamination by Toxigenic Fungi in Animal Feed in the Maradi Region: Current Status and Treatment Perspectives ]

*Rabiou Abdou Mamane Ousseini<sup>1</sup>, Adamou Akourki<sup>1</sup>, Maman Moustapha Rabiou<sup>3</sup>, Sidikou Idrissa Djibo<sup>1</sup>, Karim Saley<sup>3</sup>, and Saidou Hassidou<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Département des Sciences et Techniques d'Élevage, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo, BP: 465 Mardi, Niger

<sup>2</sup>Département de Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Dan Dicko Dankoulodo, BP: 465 Mardi, Niger

<sup>3</sup>Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Dan Dicko Dankoulodo, BP: 465 Mardi, Niger

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Animal feed is a major source of contamination by toxigenic fungi. The objective of this study was to provide an overview of fungal contamination in animal feed and to explore alternative treatments. An ethnobotanical survey was conducted in eight localities in the Maradi region through semi-structured interviews with livestock breeders, veterinarians, animal health officers, medical doctors, and biologists. A total of 539 individuals were interviewed, including 457 breeders, 45 animal health officers and veterinarians, and 37 medical and biological professionals. The study revealed that 20% of fungal contaminations originate from forages. Indicators such as moist forage with black spots, contaminated water, odor changes, and rotten feed residues were identified as warning signs. The most commonly reported diseases included foot-and-mouth disease, fever, lumpy skin disease, rhinitis, pasteurellosis, anthrax, bloating, diarrhea, intestinal worms, infections of unknown origin, allergies, laminitis, avian influenza, colic, and sheep pox. The main symptoms observed were weakness, reduced feed intake, rough hair coat, dry nostrils, lack of rumination, and weight loss. Viral infections were the most frequently encountered, accounting for 45% of the reported cases. According to 45% of doctors and biologists, mycotoxins can be transmitted to humans through the consumption of contaminated meat. To mitigate the effects of fungal contamination, veterinarians often use antimicrobial agents. However, effective alternative treatments using medicinal plants could be explored to improve animal health and food safety.

**KEYWORDS:** Fungi, mycotoxins, feed, animal, plants.

**RESUME:** L'alimentation est la principale source des contaminations des champignons toxigènes chez les animaux. L'objectif de cette étude est de faire un aperçu général sur la contamination des champignons toxigènes rencontrés dans l'alimentation animale et un traitement alternatif utilisé. Une enquête ethnobotanique a été effectuée dans huit localités de la région de Maradi à travers un entretien semi direct auprès des éleveurs, vétérinaires, agents de l'élevage, médecins et biologistes. Un échantillon de 539 personnes a été interviewé dont 457 éleveurs, 45 agents d'élevage et vétérinaires et enfin 37 médecins et biologistes. Il s'est avéré de cette étude que 20% de la contamination des champignons toxigènes proviennent des fourrages. Les fourrages humides avec tâches noires, eaux souillées, changement d'odeur, débris alimentaires pourris, sont les principaux signes alertant. Les maladies couramment rencontrées sur le terrain sont : fièvre aphteuse, fièvre, dermatose nodulaire, rhume, pasteurellose, charbon bactérien, ballonnement, diarrhée, vers intestinaux, infection d'origine inconnue, allergie, fourbure, grippe aviaire, colique, clavelée. L'asthénie, la diminution de prise alimentaire, poils désordonnés,

narines sèches, manque de rumination et la perte du poids sont les principaux symptômes évocateurs. Ainsi les infections d'origine virales sont les plus rencontrées (45%). Selon 45% des médecins et biologistes, les mycotoxines sont retrouvées chez l'homme à travers la consommation de la viande. Les vétérinaires utilisent les antimicrobiens pour limiter l'action des champignons parasites microscopiques. Un traitement alternative efficace faisant usage des plantes médicinales pourrait être utilisé afin d'améliorer l'état de santé chez les animaux.

**MOTS-CLEFS:** Champignons, mycotoxines, alimentation, animale, plantes.

## **1 INTRODUCTION**

Les champignons parasites présents dans l'alimentation humaine et animale produisent des substances toxiques connues sous le nom des mycotoxines [1]. Actuellement, la qualité et la sécurité des produits agroalimentaires sont fortement menacées par la présence des nombreuses mycotoxines synthétisées par des champignons microscopiques. La contamination par ces champignons toxigènes, ainsi que leurs effets nocifs sur la santé humaine, animale et sur les échanges commerciaux internationaux, suscitent une attention croissante, tant dans les pays développés que dans les pays en développement [2]. Les mycotoxines, métabolites secondaires des champignons, sont issues d'une contamination majoritairement d'origine végétale. Ce problème constitue un enjeu majeur de sécurité sanitaire et de qualité alimentaire [3]. Produites naturellement par des moisissures, les mycotoxines contaminent les produits végétaux soit sur pied, à la suite d'une infection de la plante, soit au cours du stockage lorsque les conditions d'humidité et de température sont favorables à leur développement. Les champignons du genre *Fusarium* sont principalement responsables des contaminations au champ, tandis que ceux des genres *Aspergillus* et *Penicillium* prédominent pendant le stockage. Il est important de noter qu'un même champignon peut produire plusieurs types des mycotoxines, et qu'une même toxine peut être synthétisée par plusieurs espèces fongiques [4]. Par ailleurs, la composition chimique d'aliments influence la production des toxines. Les denrées riches en sucres et en lipides, telles que les céréales et les oléagineux, sont généralement plus propices à la production des mycotoxines que les aliments riches en protéines [2]. Ces toxines entraînent des pertes de rendement, détériorent la qualité physique des grains, et sont particulièrement tenaces, résistant à la cuisson et à la stérilisation. Elles peuvent ainsi persister tout au long de la chaîne alimentaire, avec des effets potentiellement graves sur la santé humaine et animale [5]. Face à ce constat, il devient impératif de mieux comprendre les voies d'exposition à ces toxines, tant chez l'homme que chez les animaux d'élevage, et de développer des stratégies efficaces pour éliminer ou neutraliser ces substances [6]. Dans cette optique, certains éleveurs font recours à des alternatives thérapeutiques à base des plantes médicinales. Ces dernières occupent une place importante dans les systèmes de santé traditionnels et modernes, et continuent de faire l'objet de recherches pour leurs potentiels thérapeutiques [7]. Dans cette optique d'amélioration de l'état de santé des animaux d'élevage pour une alimentation saine chez les humains, la présente étude a vu le jour. L'objectif de cette étude est de faire une enquête sur la contamination des champignons toxiques dans l'alimentation animale et les pratiques utilisées pour y faire face auprès des éleveurs, des vétérinaires, cadres d'élevage et dans les centres des santés de la ville de Maradi.

## **2 MATERIEL ET METHODES**

### **2.1 SITE DE L'ETUDE**

L'étude a été réalisée en trois phases. La première phase, elle a ciblé: 4 villages dans la commune de Djirataoua, 2 villages dans la commune de Tibiri et 2 localités dans la commune urbaine de Maradi, dont les villages de Bouyokacharouwa, Nassalé, Rijjar Sarki, Riadhi, Boutotchi, Guidan Babaou, Bareti et le grand marché des bétails de la ville. Le choix de ces localités est basé sur leurs proximités avec la ville de Maradi et puis l'élevage est aussi pratiqué que l'agriculture. La deuxième phase concerne la direction régionale de l'élevage, les cabinets des soins vétérinaires et du centre abattoir de la ville de Maradi. En troisième phase, l'enquête a été menée auprès des centres des santés publiques et privés de la ville en plus de l'INRAN (figure 1).

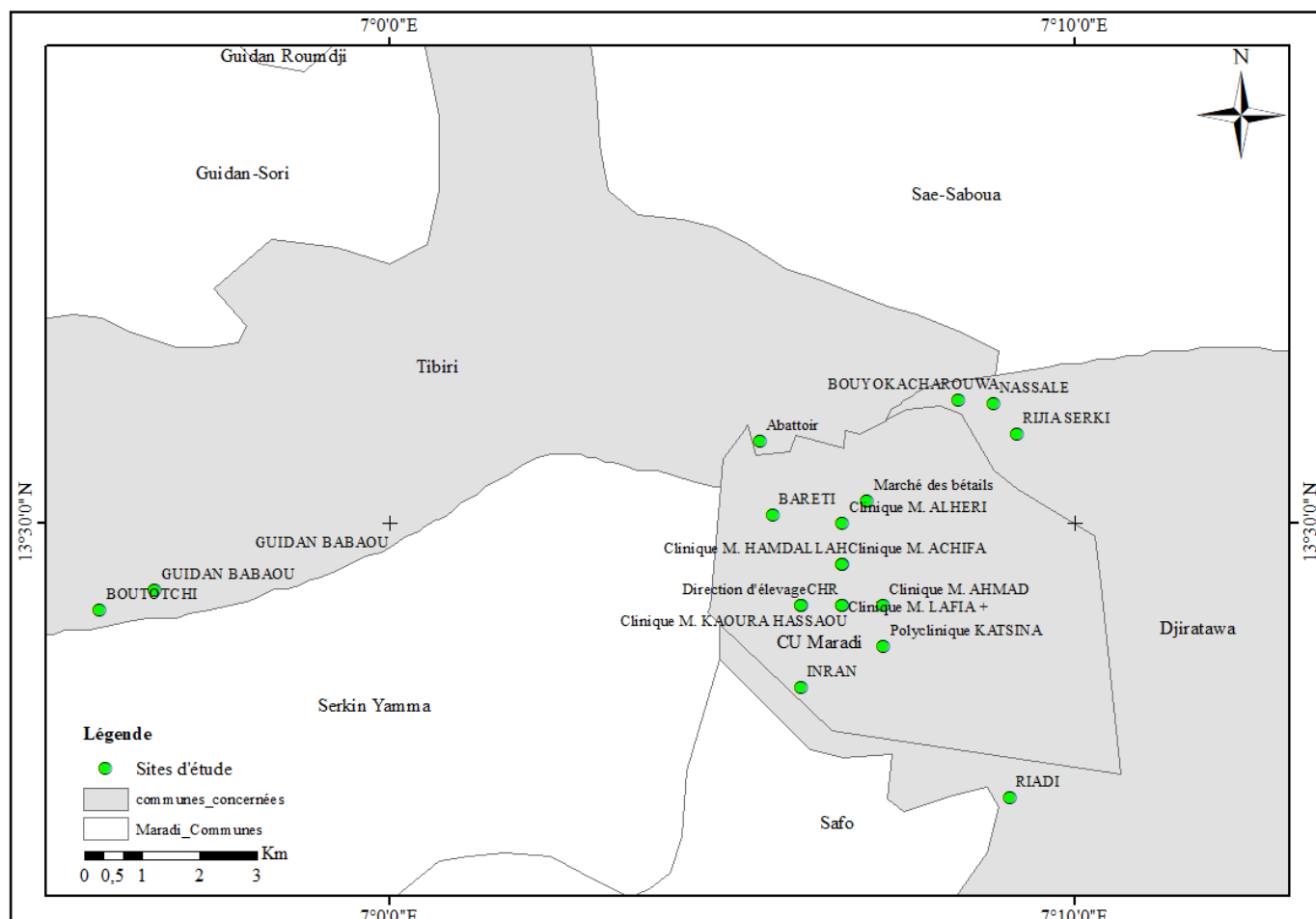


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

## 2.2 METHODES

En première partie, il s'agit d'une enquête transversale sur la base de la liste non exhaustive des éleveurs de la ville de Maradi enregistrés à la mairie de la commune 2, fréquentant le marché des bétails de la ville et dans les villages rattachés à la ville. Les questionnaires établis sont semi-ouverts pour les éleveurs et les agents d'élevage, ces questionnaires sont établis sur la base des travaux des études antérieures [8]. En deuxième partie, l'enquête a été aléatoire pour les médecins, biologistes, agents d'élevage et vétérinaires avec un entretien direct avec tous les enquêtés. L'enquête a été menée du mois de décembre 2023 jusqu'en début Avril 2024. La taille de notre échantillon est de 539 personnes dont 457 éleveurs 45 agents d'élevage et vétérinaires et enfin 37 médecins et biologistes.

### 2.2.1 ANALYSES STATISTIQUES

La saisie et le dépouillement des fiches d'enquêtes ont été réalisés à l'aide du logiciel Kobo-collect version 2024.1.3. Les données ont été traitées avec Excel et SPSS en déterminant la fréquence des citations. La fréquence des citations d'une composante (F) est le nombre des citations de la composante sur le nombre total des citations de toutes les composantes. Elle a été calculée selon la formule  $F = \frac{n}{N}$  [9], [10], avec F: Fréquence de citation; n: Nombre des citations d'une composante et N: Nombre total de citations de toutes les composantes.

L'analyse par composante principale (ACP) a été déterminée sur les données de huit localités concernant les types des maladies chez l'animal, selon les paramètres suivants: p-value < 0,05 pour une bonne significativité, indice KMO (0,652 > 0,6) mesurant les échantillons adéquats pour poursuivre l'analyse et le déterminant  $a \neq 0$  ( $a = 4,15 \times 10^{-6}$ ). Et une classification hiérarchique ascendante (ACH) a été établie sur les fréquences des citations (F) des symptômes évocateurs chez l'animal avec

le paramètre standard (méthode de Ward, carré de la distance Euclidienne, Arbre hiérarchique). Le dendrogramme obtenu permet de regrouper les différents symptômes évocateurs en des classes homogènes.

### 3 RESULTATS

#### 3.1 REPARTITION SELON LES STATUTS SOCIO-DEMOGRAPHIQUES

L'enquête a visé cinq cents trente-neuf (539) personnes constituées: des éleveurs (85%), agents d'élevage et vétérinaires (8%), et enfin médecins et biologistes (7%). Sur les localités enquêtées, le village de Boutotchi occupe plus des éleveurs (25%) où la population de ce village pratique l'élevage des subsistances soutenue par une organisation non gouvernementale. Concernant le sexe, 72 % des enquêtés étaient des hommes, contre 28 % de femmes. Du point de vue de l'âge, la tranche [40–60] ans est la plus représentée avec 43 %, suivie des tranches [25–40] ans (32 %), [60–80] ans (13 %) et enfin les personnes âgées de plus de 80 ans, qui ne représentent que 1 %. En effet, la population enquêtée est composée en grande majorité d'éleveurs, suivis d'agents d'élevage, des vétérinaires, des médecins et biologistes, comme présenté dans le tableau 1.

*Tableau 1. Statuts sociodémographiques des enquêtés*

Variables	Description	Nombre	Pourcentage
Sexe	Masculin	387	72%
	Féminin	152	28%
Tranche d'âge	[18-25]	57	11%
	]25-40]	171	32%
	]40-60]	233	43%
	]60-80]	72	13%
	>80	6	1%
Profession	éleveurs	457	85%
	Vétérinaires et agents d'élevage	45	8%
	médecins et biologistes	37	7%

#### 3.2 SOURCES DES CONTAMINATIONS

L'alimentation est la principale source des contaminations chez les animaux. D'après les éleveurs et vétérinaires: 20% de la contamination proviennent des fourrages verts, ces fourrages verts sont entassés dans des sacs en étant humide et dans des conditions non hygiéniques favorisant la germination des spores des champignons. Au-delà des fourrages verts, ils affirment que 17% de la contamination est issue de l'abreuvement ensemble en eau, 13% à travers le concentré des tourteaux d'arachide, le son et les débris alimentaires chez les animaux domestique, 10% fane d'arachide et de niébé, 5% les aliments des volailles et 2% graine de coton (figure 2). Les enquêtés reconnaissent les contaminations de ces aliments à travers certains signes principaux alertant dont: les fourrages humides avec tâches noires, eaux souillées, changement d'odeur, débris alimentaires pourris. Il existe une corrélation négative entre les sources des contaminations et les signes alertant avec un coefficient des corrélations moyenne  $R = 0,55$  (figure 3). Cela s'explique par l'évolution opposée de ces deux facteurs, plus les sources des contaminations augmentent au cours du pâturage, moins l'animal montre les signes d'une infection.

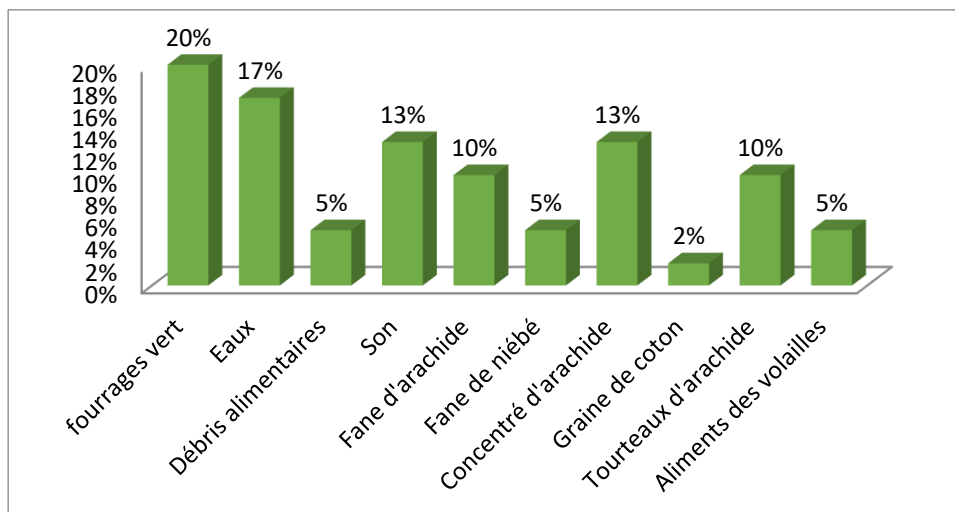


Fig. 2. Sources de contaminations des animaux selon les éleveurs et vétérinaires

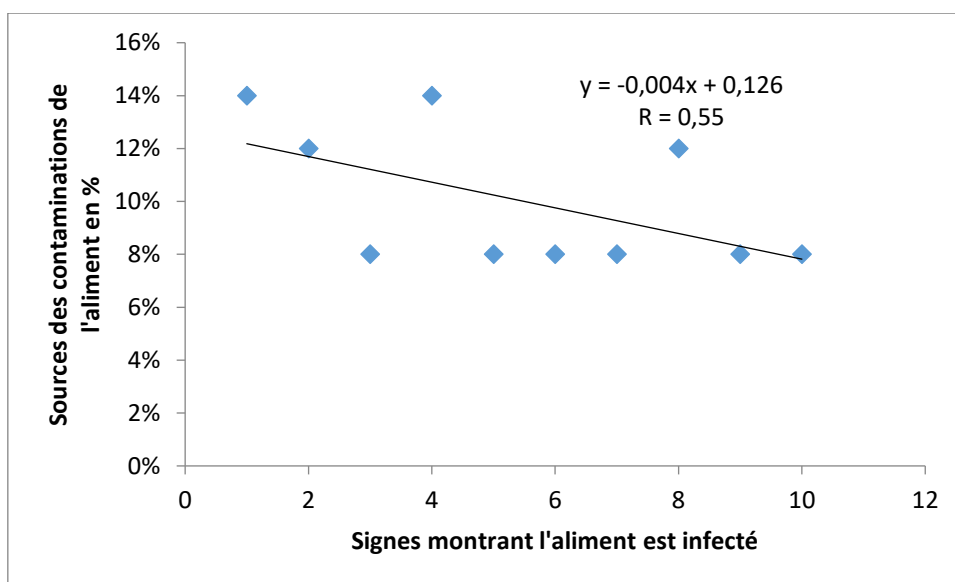


Fig. 3. Corrélation entre les signes alertant et les sources de contamination de l'aliment

### 3.3 CORRESPONDANCE DES MALADIES RENCONTREES ENTRE LES 8 LOCALITES

Au cours de cette étude, plusieurs maladies sont rencontrées sur le terrain. Les maladies d'origine virales sont les plus rencontrées (45%), et les moins fréquents sont les maladies d'origine mycosiques (1%) (Figure 6). En appliquant l'analyse par composante principale (ACP) sur les données des huit localités pour déterminer une corrélation entre ces localités concernant les maladies rencontrées, on observe la composante principale 1 (PC1) représente 60,38% de la variance totale de l'information, la composante principale 2 (PC2) représente 19,41% de la variance totale et la composante principale PC1+ PC2 représente 79,79% de la variance totale cumulative de l'information. Cette analyse a été déterminée en tenant compte des critères suivant: p-value <0,05 pour une bonne significativité, indice KMO (0,652 > 0,6) mesurant les échantillons adéquats pour poursuivre l'analyse et le déterminant  $a \neq 0$  ( $a = 4,15 \times 10^{-6}$ ) pour la matrice de corrélation. Ainsi, six localités à savoir les villages de Bio-kacharoua, Nassalé, Rijjar Sarki, Boutotchi, Guidan Babaou, Bareti sont fortement corrélés avec PC1, il montre une association entre eux, donc la majorité des maladies sont les mêmes rencontrées dans ces six villages. Les deux autres, marchés des bétails et Riadi sont corrélés avec PC2, il y'a une relation entre ces deux localités, les maladies recensées dans les marchés des bétails sont aussi retrouvées dans les villages Riadi (figure 4).

Les maladies couramment rencontrées sur le terrain sont: fièvre aphteuse, fièvre, dermatose nodulaire, rhume, pasteurellose, charbon bactérien, ballonnements, diarrhée, ver intestinaux, infection d'origine inconnue, allergie, fourbure, grippe aviaire, colique, clavelée etc... Les éleveurs et vétérinaires reconnaissent l'atteinte d'un animal par une maladie à travers des symptômes évocateurs. L'asthénie, la diminution de prise alimentaire, poils désordonnés, narines sèches, manque de rumination et la perte du poids sont les principaux symptômes évocateurs retenus pour cette étude, montrant l'animal est atteint ou infecté. Un dendrogramme a été établi pour déterminer une classification hiérarchique ascendante entre ces symptômes évocateurs à travers la fréquence des citations. Le dendrogramme relève deux classes, dont la Classe 1: poils désordonnés, narines sèches, asthénie, diminution de prise alimentaire + asthénie. C'est la classe, la moins citée avec une fréquence de 0,17. La classe 2 est la plus citée avec une fréquence de 0,93, constituée de: écoulement des salives, tremblement de l'animal, diminution de prise alimentaire, diminution de prise alimentaire + asthénie, diminution de prise alimentaire+perte des poids, narines sèches, poils désordonnés, manque de rumination, perte des poids (figure 5).

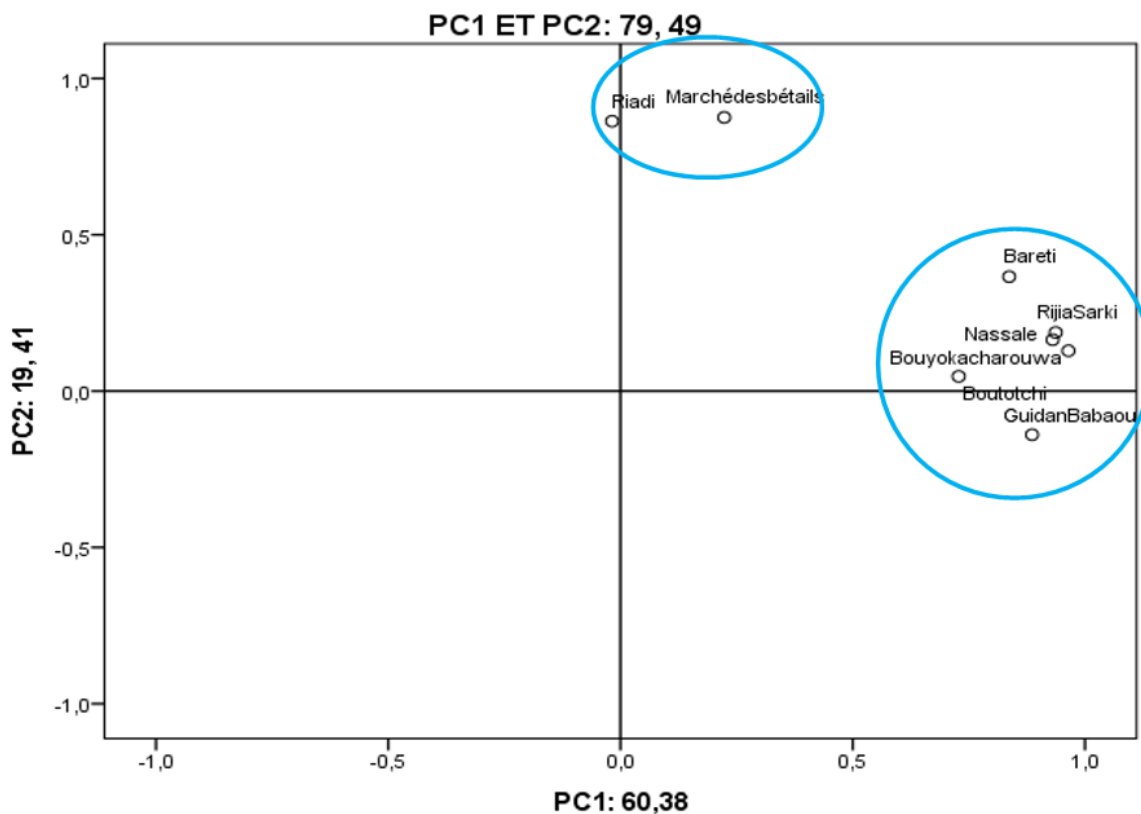


Fig. 4. Corrélation entre les composantes principales des localités enquêtées

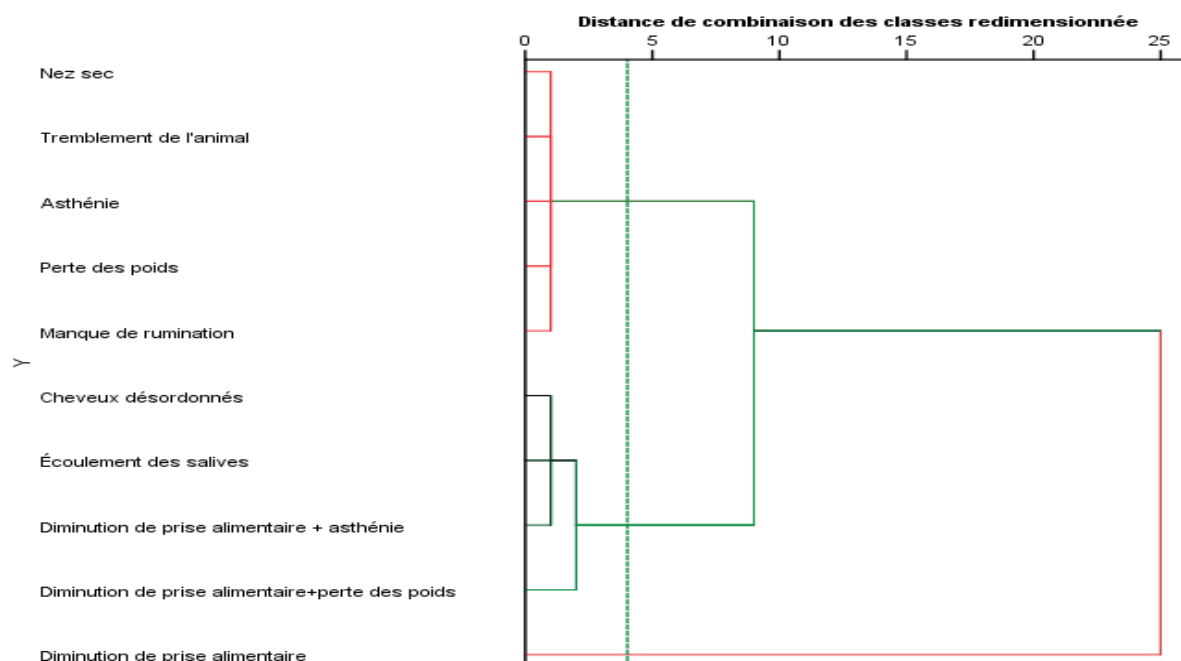


Fig. 5. Dendrogramme de la classification hiérarchique des symptômes évocateurs en fonction de la fréquence de citation chez les éleveurs

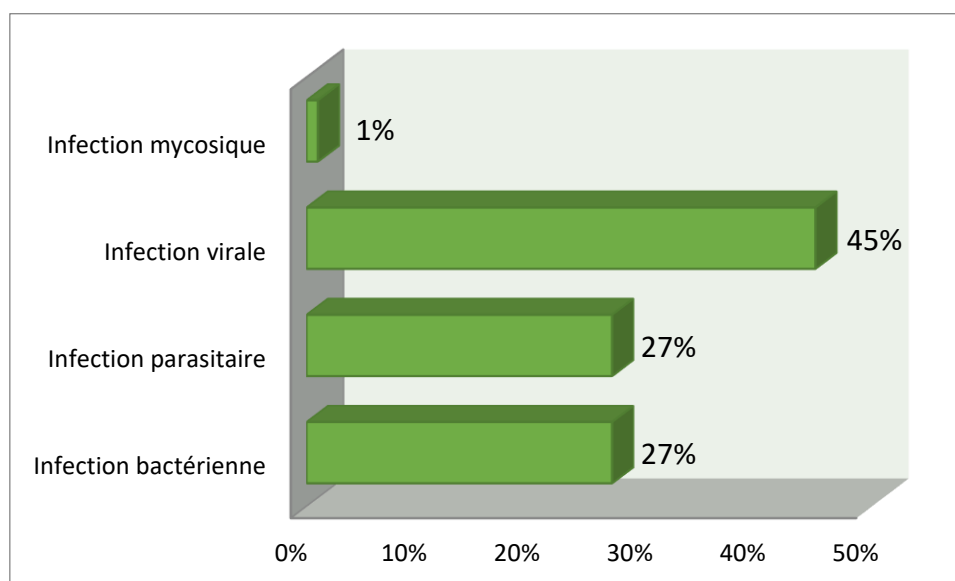


Fig. 6. Types d'infection fréquemment rencontrés chez les éleveurs

### 3.4 LIEN DE CONTAMINATION ENTRE L'ALIMENTATION ANIMALE ET LA SANTE HUMAINE

Les infections fongiques contaminent les aliments des bétails, ces infections se retrouvent chez l'homme à travers la consommation de la viande, le lait, la peau et les abats. Sur le terrain 45% des médecins et biologistes affirment que les champignons microscopiques toxigènes sécrètent des toxines retrouvées dans l'alimentation de l'homme à travers la consommation de la viande mal cuite. La consommation directe du lait non pasteurisé expose l'homme aux risques des mycotoxines sécrétées par les champignons toxiques d'après 41% des médecins et biologistes. Dans certaines localités, la peau est transformée pour être consommée dans l'alimentation humaine, 9% des enquêtés affirment que les mycotoxines contaminent l'alimentation humaine à travers la consommation de cette peau transformée (Tableau 2).

**Tableau 2. Lien de contamination entre l'alimentation animale et l'homme**

Lien de contamination	Nombre des médecins et biologistes en %
Viande	45%
Lait	41%
Peau	9%
Abats	5%

### 3.5 EFFETS DES DIFFERENTES INFECTIONS MYCOSIQUES CHEZ L'HOMME ET L'ANIMAL

Les différentes infections fongiques rencontrées sur le terrain ont des impacts négatifs sur la santé de l'homme et l'animal (Tableau 3). Selon les médecins et biologistes de cette étude, les candidoses uro-génitales induisent la stérilité chez l'homme, les candidoses cutanées provoquent des éruptions cutanées, les candidoses buccales causent les caries dentaires, les aspergilloses pulmonaires agissent sur les poumons et autres. Et d'après les vétérinaires de cette étude, les infections mycosiques aiguës entraînent la mortalité à travers les mycotoxines ingérées par certains animaux et chez d'autres ils entraînent une baisse de reproduction et de croissance.

**Tableau 3. Impacts des infections mycosiques chez l'homme et l'animal**

Impact de la contamination sur la santé animale	Impact de la contamination sur la santé humaine
Les infections fongiques ont des impacts importants sur la performance zootechnique des animaux. La mortalité, le retard de croissance, la baisse de reproduction, l'intoxication plus diarrhée, le ballonnement et l'installation de zoonose sont les impacts rencontrés sur les terrains auprès des vétérinaires.	Selon les médecins et biologistes de cette étude, les infections fongiques ont des impacts négatifs chez l'homme : cancérigènes à long terme, lésions du foie, démangeaisons, diarrhées, vomissements, douleurs abdominales, nausées, éruptions cutanées, caries dentaires, troubles digestifs, prurits, stérilités, cancers pulmonaires, infertilités où avortements, allergies, fièvres persistantes, infections systémiques, orchio-épididymite, Urétrites, hypertensions artérielles et autres.

### 3.6 TYPES DES TRAITEMENTS UTILISES ET PRATIQUES DES ELEVEURS FACES AUX MYCOTOXINES RECOMMANDEES PAR LES VETERINAIRES

Plusieurs types des traitements sont utilisés par les vétérinaires chez les animaux (figure 7), les antibiotiques sont plus utilisés, à 32% pour limiter l'action des champignons parasites microscopiques. Les régulateurs métaboliques constituent une bonne alternative des vétérinaires jusqu'à 16% d'usage contre les mycotoxines en dehors des antibiotiques. Pour une intoxication aiguë causant des diarrhées, les anti-diarrhéiques sont utilisés avec les lavages des panses. Certains vétérinaires préfèrent un détoxifiant ou un anti-inflammatoire ou un antiparasitaire pour une persistance d'une mycose. Les laxatifs sont les moins utilisés par les enquêtés contre l'effet des mycotoxines à seulement 4%.

Pour prévenir certains types des maladies chez les animaux et éviter la contamination des aliments des bétails par les champignons microscopiques toxigènes, les éleveurs ont adopté des comportements recommandés par les vétérinaires et agent d'élevage (Conseil et sensibilisation): respecter le conseil et mesure prise par les autorités compétentes, isolement pour vaccination. Les éleveurs ont été bien éduqués pour un élevage de sécurité par les agents d'élevages en appliquant leurs conseils: éviter les stocks des aliments concentrés, limiter la conservation (plus c'est conservé plus c'est contaminé), contrôler l'aliment avant de servir, éviter les produits avariés et sécher les fourrages, hygiène autour de l'environnement de l'animal, aliments sains, eaux saines et enfin compléter avec des vitamines.

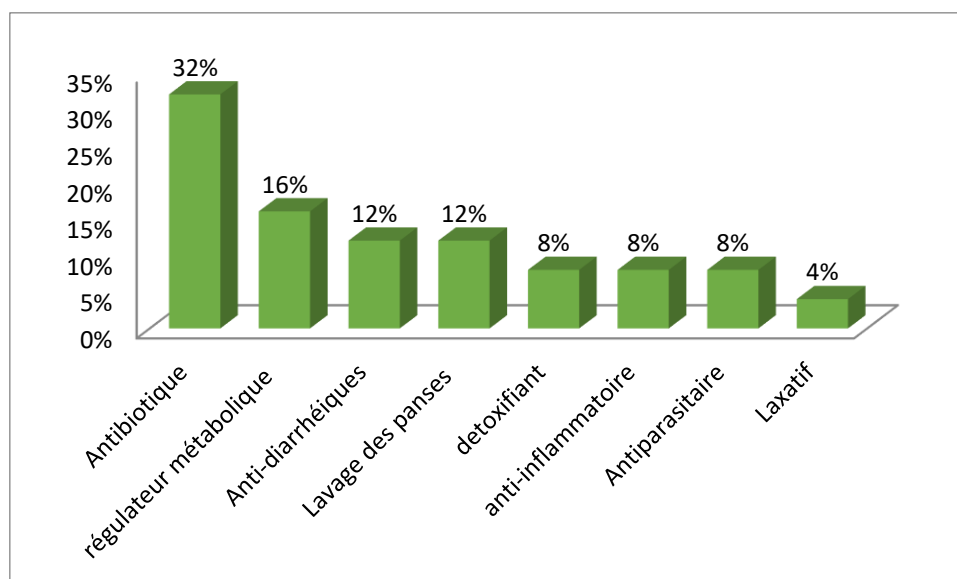


Fig. 7. Fréquence des types des traitements utilisés par les vétérinaires pour lutter contre les toxines produites par les champignons

### 3.7 TYPES DES INFECTIONS FONGIQUES RENCONTRES DANS LES CENTRES MEDICAUX

Chez la population des médecins et biologistes enquêtée, différents types des infections fongiques sont rencontrés sur le terrain avec des taux de prévalence variés. Les plus fréquents sont les intoxications alimentaires avec un taux de 31% due aux toxines ingérées, les candidoses en générale et les moisissures, sont les moins fréquents avec un taux de prévalence respectif de moins de 30% et 7% (tableau 4). Une courbe de régression linéaire a été établie pour montrer une certaine corrélation entre ces types d'infection. Ainsi une corrélation négative a été observé avec un coefficient de corrélation moyen  $R= 0,54$  (figure 8). Ce qui justifie qu'il existe un certain lien entre ces types d'infection mais leurs modes de contamination est différent.

Tableau 4. Taux de prévalence des infections fongiques

Types d'infection	Taux de prévalence en %
Intoxication alimentaire	31%
Candidose buccale	11%
Candidose génitale	29%
Candidose cutanée	22%
Moisissure	7%

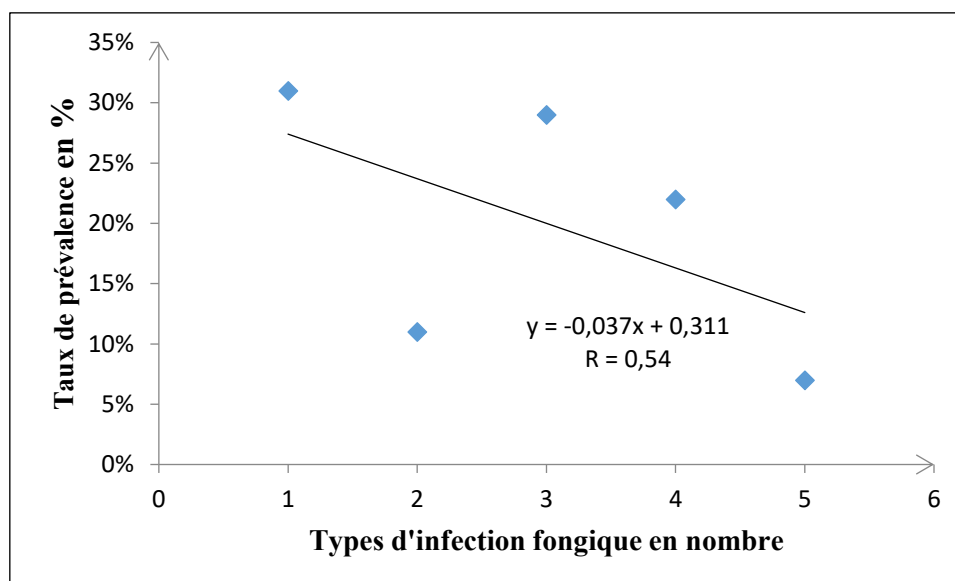


Fig. 8. Corrélation entre les types des infections fongiques

### 3.8 DEGRE D'ÉVOLUTION DE LA CONTAMINATION CHEZ L'HOMME

Selon le degré d'évolution de la contamination chez l'homme, les infections fongiques s'installent de façon chronique dans l'organisme humain d'après 57% des enquêtés des centres médicaux de la ville de Maradi. Parmi ces enquêtés, 43% autres affirment que la contamination des infections fongiques évoluent de façon aiguë.

## 4 DISCUSSION

L'analyse des données révèle que la majorité des personnes enquêtées étaient de sexe masculin, un résultat conforme à celui rapporté par [11], qui indique que 59,3 % des éleveurs dans les zones urbaines et périurbaines de Niamey sont des hommes. Cette prédominance masculine peut s'expliquer par le fait que l'élevage, considéré comme une activité économique génératrice de revenus, est majoritairement exercé par les hommes, notamment dans les centres urbains, pour subvenir aux besoins de leurs familles. En ce qui concerne la structure par âge, la tranche de 40 à 60 ans représente le groupe le plus important de l'étude, un résultat proche de celui de [10], qui identifie cette même tranche d'âge comme le deuxième intervalle le plus représentative (37,1 %) de son étude. Cette catégorie d'âge est souvent associée à une expérience accumulée en matière de gestion des troupeaux et de connaissance des maladies animales. Selon les éleveurs et les vétérinaires interrogés, les principales sources de contamination des animaux par des moisissures sont les fourrages verts et l'eau d'abreuvement. Cette observation concorde avec les résultats de [12], qui mentionnent la forte diversité microbienne présente dans les fourrages frais. Les conditions environnementales, telles que l'humidité du fourrage, la température ambiante et les pratiques de stockage, favorisent le développement fongique et la production de mycotoxines. En effet, [12] souligne que la présence de moisissures altère les caractéristiques organoleptiques et chimiques des aliments contaminés. De plus, [13] rapporte que les maladies animales sont la principale cause de mortalité sur les sites étudiés. Pour la période d'avril à mai 2024, 92 % des décès enregistrés étaient attribués à des maladies, y compris des intoxications alimentaires. L'analyse statistique par analyse en composantes principales (ACP) a montré que la première composante (PC1) expliquait 60,38 % de la variance totale, ce qui est conforme à l'affirmation de [14], selon laquelle la première composante résume la plus grande part de l'information. La classification hiérarchique des signes d'infection de l'alimentation animale, effectuée par la méthode de Ward, a permis de visualiser les regroupements de variables similaires dans un dendrogramme. Ce résultat corrobore les observations de [15], qui décrivent la classification hiérarchique comme une méthode puissante d'analyse exploratoire pour identifier des groupes homogènes. Cette méthode est également appuyée par l'approche décrite par [16]. La présence de champignons fongiques dans les aliments destinés aux animaux représente un risque direct pour la santé humaine, notamment par la consommation des produits animaux contaminés comme la viande, le lait, la peau ou les abats. Ceci est confirmé par [17], [18], qui rapportent que les mycotoxines peuvent se retrouver dans la chaîne alimentaire humaine via ces produits. Les moisissures se développent facilement en présence de matières organiques et dans des conditions d'humidité propices, avec une production possible de mycotoxines [19]. Elles peuvent coloniser les aliments, y produire des toxines et causer des intoxications parfois graves, voire

mortelles chez les animaux. Chez l'homme, ces intoxications sont plus rares mais restent préoccupantes [20]. L'élevage joue un rôle crucial dans l'apport en protéines de haute valeur biologique (viande, lait) et participe également à la lutte contre les zoonoses, ce qui montre l'interdépendance entre santé humaine et santé animale [21]. Les infections fongiques identifiées sur le terrain ont des impacts sanitaires significatifs. Selon [22], les mycotoxines sont responsables de toxicités diverses, notamment hépatiques, rénales, immunitaires, et hormonales pouvant conduire à la stérilité. Les animaux monogastriques, tels que les volailles et les porcs, sont particulièrement sensibles aux mycotoxicoses en raison de leur alimentation à base de céréales et de l'absence de microflore ruminale détoxifiante [23]. Chez l'homme, les voies de contamination sont multiples: contact cutané, inhalation, ingestion, ou exposition intraveineuse [24]. Une ingestion d'aliments contaminés peut provoquer des effets biologiques importants, selon la concentration en toxine. D'après [25], [26], ces effets varient selon la nature de la mycotoxine: mutagène, cancérigène, tératogène, immunodépressive, néphrotoxique, hépatotoxique ou encore œstrogénique. Dans cette étude, les traitements principalement utilisés pour limiter les effets des champignons microscopiques comprennent les antibiotiques et régulateurs métaboliques. Cela diffère des résultats de [27], qui recommandent l'usage du biochar pour réduire partiellement l'impact des champignons pathogènes. Plusieurs travaux [28], [29], soutiennent l'efficacité du biochar pour réduire la sévérité des maladies chez de nombreuses espèces végétales. Toutefois, [30] rappelle que les inhibiteurs des moisissures, bien qu'efficaces, ne doivent pas être considérés comme solution unique. Cela justifie le recours des vétérinaires à une approche thérapeutique combinée incluant anti-inflammatoires, antiparasitaires et laxatifs.

## 5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, on a relevé que l'alimentation est la principale source des contaminations des champignons toxigènes chez les animaux selon les conditions optimales d'humidité et de chaleur. Les mycotoxines sécrétées par ces champignons sont toxiques chez les animaux surtout s'agissant de leurs performances zootechniques. Ces mycotoxines se retrouvent chez les humains jouant un rôle néfaste pour la santé à travers le lien de consommation du lait, viande, les abats, et la peau. Un traitement alternatif utilisant les plantes médicinales pourrait être une solution efficace pour limiter l'action de ces champignons toxiques afin de bien conserver l'alimentation animale.

## REMERCIEMENTS

Les remerciements sont adressés à tous les éleveurs, agents d'élevage, vétérinaires, médecins et biologistes, qui ont été coopératif lors de cette étude sur le terrain et à tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce travail.

## REFERENCES

- [1] B. Y. Samir, Intoxications par les mycotoxines: les mycotoxicoses, École Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi Thabet (ENMV ST), Tunisie, 139 p. 2016.
- [2] N. T. Guezlane, N. Bouras and M. D. Ould El hadj, Les mycotoxines: un danger de santé public, *Algerian journal of arid environment*, vol. 6, no. 1, pp. 32-49, 2016.
- [3] A. S. Boubacar, K. A. Salam and A. M. Zoubeirou, Connaissance de mycotoxine par les producteurs du riz local au Niger, Tillabéry, *Afrique SCIENCE*, vol. 15, no. 3, pp. 312 – 320, 2019.
- [4] Ministère de l'agriculture and l'alimentation (MAA), Plan de surveillance et plan de contrôle des contaminants, substances ou produits indésirables dans les matières premières et aliments composés destinés à l'alimentation animale, Document stratégique, Paris, 23p, 2021.
- [5] GDS, Mycotoxines: modification des seuils réglementaires, Note d'information, Bayer abd Règlement UE 2024/1022 and 1038, 2p, 2024.
- [6] G. Pierre, L. Nicolas, P. O. Isabelle and P. Olivier, Toxicologie des mycotoxines: dangers et risques en alimentation humaine et animale, 2005, [En Ligne] Disponible: <http://www.academie-veterinaire-france.fr>, (Mai 3,2025).
- [7] A. L. Hamadi and M. C. Tarik, Généralités sur les plantes médicinales, Manuel des cours, Université Abou bekr Belkaïd–Tlemcen Algérie, Sciences de la terre et de l'univers, 51p, 2024.
- [8] M. N. Aminou, M. Aminatou, and S. Haoua, Comparative Study and Impact on Nutritional Status, Dietary Practices of Normal and Moderate Acute malnutrition Children Under 24 Months in Niger: case of Mayahi County, *International Journal of Current Research*, vol. 10, no. 03, pp. 527-533, 2018.

- [9] L. Fah, J. R. Klotoé, V. Dougnon, H. Koudokpon, V. B. A. Fanou, C. Dandjesso, F. Loko, Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète chez la femme enceinte à Cotonou et Abomey-Calavi (Benin), *Journal of Animals and Plant Sciences*, vol. 18, no.1, pp. 47-58, 2013.
- [10] D. S. Harouna, D. V. Kouakou, E. M. A. Kouakou, Y. Soro, Caractérisation morphologique et ethnobotanique des cultivars de «Kroala» (*Corchorusolitorius*L.), légume-feuille traditionnel consommé dans les régions du Centre de la Côte d'Ivoire, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 17, no. 2, pp. 363-377, 2023.
- [11] Boudra, H., Les mycotoxines dans les fourrages: un facteur limitant insidieusement la qualité des fourrages et les performances des ruminants, INRA: UR1213 Herbivore, pp. 265-279, 2009.
- [12] J. P. F. D'Mello and A. M. C. Macdonald, Mycotoxins, *Animal Feed Science and Technology*, vol. 69, no. 1-3, pp. 155-166, 1997.
- [13] ACF, Bulletin de surveillance pastorale sur le Niger, Document stratégique N°57, 19p, 2024.
- [14] J. L. Berger, 2021, Analyse factorielle exploratoire et analyse en composantes principales: guide pratique, [En Ligne] Disponible: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03436771v1>, (Mai 23,2025).
- [15] C. Bernard, Études de cas en analyse des données, Rapport de recherche No 177, Départements des mathématiques, faculté des Sciences: Université de Sherbooke, 183p, 2021.
- [16] F. Husson, J. Josse and J. Pagès, Analyse des données avec R complémentarité des méthodes d'analyse factorielle et de classification, Laboratoire des mathématiques appliquées, Rennes: PUR, pp. 1-6, 2010.
- [17] Amal M, 2022, Identification et effets des champignons mycotoxinogènes et leurs mycotoxines sur la qualité des aliments et du lait des ruminants: possibilités d'amélioration, Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université Carthage: Institut National Agronomique de Tunisie, 317p.
- [18] S. Madhysatha, R. R. Marquardt, Mycotoxins in the feed and animal products, *Poultry and Pig Nutrition*, pp. 263–278, 2019.
- [19] C. M. Dany, V. Marie and C. Johanne, Les mycotoxines chez les ovins pour y voir un peu plus clair, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Direction de l'innovation scientifique et technologique 200, chemin Ste-Foy, 9e étage, Québec G1R 4X6, 22p, 2003.
- [20] Mariana T, 2008, Evaluation du risque de contamination alimentaire en mycotoxines néphrotoxiques et cancérogènes (notamment l'ochratoxine A): Validation de biomarqueurs d'exposition et d'effet, Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 261p.
- [21] A. Djibrillou, Revue des filières bétail/viande & lait et des politiques qui les influencent au Niger, L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et la Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest, 122p, 2017.
- [22] OMS, 2023, Les mycotoxines, [En Ligne] Disponible: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>, (Janvier 11, 2024).
- [23] AFSSA, Évaluation des risques liés à la présence des mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale, Rapport synthétique, 82p, 2006.
- [24] S. A. Godeau and Guedj A, Mycoses buccales, *EMC-Stomatologie* 1, pp. 30–41, 2005.
- [25] E. Johannig, M. Gareis, K. Nielsen, R. Dietrich and E. Martlbauer, Airborne mycotoxin sampling and screening analysis, Rotterdam (Netherlands), Indoor air 2002- 9th international conference on indoor air quality and climate, In-house publishing, pp. 1-6, 2002.
- [26] V. R. Miller, Mycotoxins in mold-colonized drywall obtained from a field investigation, Aetotech laboratories, Inc, Phoenix arizona, 22p, 2001.
- [27] Y. Elad, D. R. David, Y.M. Harel, M. Borenshtein, H. B. Kalifa, A. Silber, E. R. Graber, Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent, *Phytopathology*, vol. 100, no. 9, pp. 913-921, 2010.
- [28] N. J. McKenzie and J. Dixon, Monitoring soil condition across Australia: recommendations from the expert panel, Canberra: National Land and Water Resources Audit, 83p, 2006.
- [29] A. Ahmadou, A. Napoli, N. Durand and D. Montet, High physical properties of cashew nut shell biochars in the adsorption of mycotoxins, *International journal of food research*, vol. 6 no. 1, pp. 18-28, 2019.
- [30] L. W Whitlow and W. M. Hagler, La contamination des aliments par les mycotoxines: un facteur de stress additionnel pour les bovins, Symposium sur les bovins laitiers – CRAAQ, pp. 10-30, 2001.

## Adaptation of a double hopper seeder for the improvement of cowpea productivity (*Vigna unguiculata*) in Niger: Case of the Maradi and Zinder regions

Abdoulahi Mamane<sup>1</sup>, Arifa Warouma<sup>1</sup>, Saidou Addam Kyar<sup>2</sup>, and Jens Bernt Aune<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, BP 465 Maradi, Niger

<sup>2</sup>Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Laboratoire Sol, BP 429 Niamey, Niger

<sup>3</sup>Department of International Environment and Development Studies, Norwegian University of Life Sciences, 1432 Ås, Norway

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study aims to evaluate the effect of using the adapted Gangaria seeder combined with localized organomineral fertilization on labor productivity, yield and profitability of cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivation in Niger. A randomized block trial with four treatments crossing sowing method (manual or mechanized) and fertilization (with or without microdose) was conducted over two (2) agricultural seasons (2023 and 2024) in the Mardi and Zinder region. The results show that mechanized sowing halved the working time per hectare and contributed to a significant improvement in grain yields up to 959 kg ha<sup>-1</sup> and dried haulm (1052 kg ha<sup>-1</sup>) at the level of the mechanized treatment combined with localized fertilizer inputs (T3). Mechanization alone resulted in an increase in grain yield of 180 kg/ha, a 26.8% improvement compared to manual sowing. The average yield of the two treatments obtained with the application of microdoses of compost was 274 kg/ha higher than the yield in the two treatments without microdoses, which corresponds to an increase of 43.0%. Compared to manual sowing, the economic analysis shows that mechanized sowing without fertilizer application (T2) generates the highest net margin, due to the high cost of purchased compost. Local production of compost thus appears as an alternative to optimize the benefits of the technology. The use of the adapted Gangaria seeder constitutes a promising strategy to sustainably increase agricultural productivity and improve the agricultural incomes of cowpea producers in Niger.

**KEYWORDS:** Gangaria seeder, Cowpea, Animal traction, Localized fertilization, Economic profitability.

### 1 INTRODUCTION

Cowpea is considered an important plant to address the challenges posed in Africa by climate change, in order to cover and secure the food and nutritional needs of populations [1]. It is also a potential source of productivity to contribute to improving producers' incomes [2].

In Niger, cowpea plays an important role in human and livestock nutrition. It is the most important cultivated legume. Cowpea is cultivated on an area of 5,573,430 ha, with a production of 2,763,022 tonnes and a yield of 496 kg/ha in rural areas [3]. Niger ranks second among the main cowpea producing countries in West Africa [4].

Population growth [5], increasing urbanization and more pronounced economic and food aspirations make it essential to increase agricultural production to guarantee food security and self-sufficiency. This is why it is important to consider the influence of animal traction in agricultural production [6].

Cowpea production is expected to increase significantly in the coming decades as more short-season, pest-resistant varieties become available and cowpea cultivation progresses further as a niche crop in cereal cropping systems [7].

Pest pressure, end-of-cycle drought, poor soils, the use of rudimentary agricultural equipment and the lack of improved varieties are the main causes of the decline in cowpea yield [8]. For farmers, the transition from manual cultivation to animal traction profoundly changes the functioning of the production system. It allows a significant increase in the cultivated area per farm thanks to gains in labor productivity [9].

The development of microdosing of fertilizers has also made it necessary to develop discs suitable for the simultaneous sowing of seeds and fertilizer. One of the advantages of mechanized sowing, compared to manual sowing, is that it makes it more difficult for rodents and birds to locate the location of sown seeds [10]. Microdosing of fertilizers and mechanization are low-cost ways to improve agricultural yields and reduce the need for labor [11]. Many farmers use labor-intensive production techniques because they do not have the resources to invest in machinery that can facilitate cultivation [7].

Due to the inability of the legume to fix nitrogen at the beginning of its cycle, a minimum of nitrogen fertilizer is necessary in poor soils to improve yields [12]. Integrated management of mineral and organic fertilizers, combined with the potential for atmospheric nitrogen fixation, would be appropriate for better soil fertilization and obtaining better crop yields [13]. Given the limited effects of organic and mineral fertilizers taken separately, it is better to combine them in order to sustainably increase agricultural production [14].

In Niger, animal traction represents an alternative to motorized mechanization, which is still inaccessible to the majority of small producers. However, animal traction equipment specifically designed for legume crops, such as cowpea, remains rare or poorly adapted. The Gangaria seed drill, initially developed for cereals, has undergone technical adaptation to meet the specific needs of cowpea cultivation. The modified version includes a double hopper: one for seeds, the other for localized application of a compost-chemical fertilizer mixture (NPK 15-15-15), allowing for precision fertilization using the microdose technique.

Purchasing fertilizers is a financial burden, but yield will increase significantly with the application of appropriate fertilizer [15]. Agriculture in West Africa is particularly vulnerable to climate change due to its heavy reliance on rain-fed agriculture and increased climate variability [16].

The economic relevance of applying 2g of DAP per pocket in the context of microdosing is now being questioned. Indeed, recent research suggests that lower doses could be sufficient to ensure good yields [10]. In addition, the mechanization of the application of these small quantities of fertilizer is now possible thanks to the development of seed drills with separate hoppers for seeds and fertilizers.

In terms of good practices for cowpea cultivation, research institutions recommend composting, respecting the spacing between pockets, the use of small mechanization, respecting the sowing period, sowing in rows and seed treatment [17]. However, very little work has focused on improving cowpea productivity through mechanization combined with fertilization.

The objective of this study is to evaluate the combined effect of mechanized sowing and localized fertilizer application on the agronomic performance of cowpea. More specifically, it involves comparing four (4) sowing treatments combining the sowing method (manual or mechanized) and the application of fertilizers (with or without microdose). The study aims to determine the impact of the treatments on yields, workload and economic profitability.

## **2 MATERIALS AND METHODS**

### **2.1 MATERIAL**

The trial mobilized a set of equipment to meet the technical requirements of cowpea cultivation. The seed variety used is IT90, chosen for its good adaptability to the soil and climate conditions of the Maradi and Zinder regions. The main sowing tool is the adapted Gangaria seeder. It has been specially modified to adapt to the specific needs of this legume, particularly in terms of spacing between pockets, sowing depth, and simultaneous distribution of inputs. The seeder is hitched to a pair of oxen (Figure 1). It was used for mechanized treatments, also requiring a driver and a guide to ensure regular sowing. The field equipment included a GPS for precise delimitation of plots, a stopwatch to measure the duration of cultivation operations, as well as stakes and string for marking experimental plots according to the defined dimensions. A precision electronic scale was used to weigh seeds, crops, and inputs. Finally, for manual treatments, a large traditional hoe was used to open seed pockets, allowing for comparison between manual and mechanized practices.

### **2.2 METHODS**

#### **2.2.1 PRESENTATION OF THE GANGARIA SEEDER**

The Gangaria seed drill is an innovative and newly developed tool that allows for the simultaneous sowing and application of seed and organomineral soil fertilization (Figure 1). It has two independent hoppers for seeds and compost (Figure 2b), each with a perforated disc adapted to the type of input (Figure 2a). The rotation of the wheels drives distribution, while elements such as the openers, skimmers and the press wheel ensure efficient sowing. It is lightweight (approximately 20 kg) and designed for animal traction.

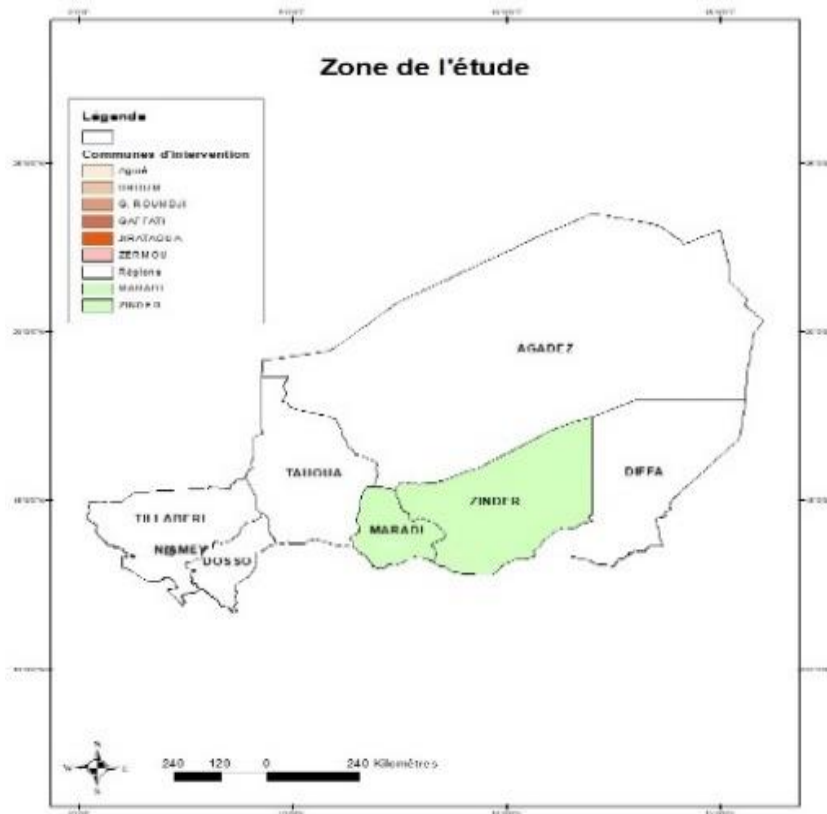
The adaptation of the seeder to cowpea cultivation consisted of adjusting the distribution system for larger seeds, adjusting the sowing depth (3–5 cm), and the spacing between pockets (25 cm). The seeder now allows the simultaneous application of compost and mineral fertilizer thanks to its separate hoppers. The seeder was developed by INRAN and manufactured by the metal construction workshops of Niger.



**Fig. 1.** *The Gangaria Seed Drill: Integrated Tool for Simultaneous Sowing and Organomineral Fertilization*

**2.2.2 STUDY AREA**

The trial was conducted for two years (2023 and 2024) in the Regional Agronomic Research Centers (CERRA) of Maradi and Zinder. The Maradi region is located between latitude 13°30'00"North and longitude 7°06'06"East and that of Zinder located between latitude 13°48'25 "North and longitude 8°59'17" East. These two regions (Figure 3) constitute the agricultural center par excellence of the country. They contribute 47% to the national production of cowpea [3]. These two regions of Maradi and Zinder are located in the center-south of Niger and have predominantly sandy soils. Annual rainfall in these regions varies from 400 to 500 mm [18].



**Fig. 2.** *Map of the study area*

**2.2.3 EXPERIMENTAL DEVICE**

An experimental design was set up to evaluate the combined effect of mechanization and fertilization on cowpea cultivation. Four treatments (T0, T1, T2, T3) were defined according to a factorial structure crossing two sowing methods (manual and mechanized) and two fertilization levels (with or without inputs). The experiment was conducted according to a randomized complete block design with four replications.

#### **2.2.4 DESCRIPTION OF TREATMENTS**

- **Treatment T0 – Manual sowing without fertilization:**

This treatment corresponds to the traditional practice, without any fertilizer application. Two people carried out the sowing: one opened the pockets using a large hoe, the other placed the seeds before closing the holes.

- **Treatment T1 – Manual sowing with organomineral fertilization:**

Three people were involved in this treatment. The first opened the holes, the second introduced a mixture of 25 g of compost and 0.6 g of NPK (15-15-15) into each pocket, and the third placed the seeds before closing the pockets.

- **Treatment T2 – Mechanized sowing without fertilization:**

Sowing was carried out using an adapted Gangaria seed drill, hitched to a pair of oxen. One person drove the team while another guided the seed drill. Only the seed hopper was used, without the addition of fertilizers.

- **Treatment T3 – Mechanized sowing with organomineral fertilization:**

This treatment combines mechanization and the addition of inputs. The Gangaria seeder was simultaneously supplied with seeds and fertilizers (25 g of compost and 0.6 g of NPK per pocket). The equipment was always harnessed to a pair of oxen and operated by two people (driving and guiding). In each treatment, cowpea was sown with a spacing of 60 cm x 25 cm. Each elementary plot includes 6 rows and each row includes 120 plants. An elementary plot is composed of 720 cowpea plants. An elementary plot has an area of 108 m<sup>2</sup> (30 m x 3.6 m).

#### **2.2.5 DATA COLLECTION AND ANALYSIS**

The performance evaluation of the different treatments was based on a methodological approach that combines work efficiency measurements, agronomic parameters and an economic analysis. This integrated approach made it possible to better understand the technical and economic effects of the different sowing methods applied to cowpea cultivation.

- Cowpea yield (kg/ha)
- The required working time (hours)
- Work output (h/d/ha)
- Agricultural yield (Kg/ha)

#### **The Agricultural Work Yield is expressed as follows:**

The labor output in agriculture corresponds to the working time required to carry out an agricultural operation on a given area (ha). It is expressed in:

- hours per hectare (h/ha), where
- man-day per hectare (hd/ha), considering a standard 8-hour day.

Yield measures the technical efficiency of agricultural work [19]. It is expressed by the following formulas:

- Hourly output =  $T / S$
- Man- day output =  $T / (8 \times S)$

With:

- T: total working time (hours), - S: area worked (hectares).

#### **Work yield in animal traction**

According to the work of [20] and [21], the efficiency in animal traction is expressed by the following formula in animal traction:

$$R = T / (S \times C)$$

#### **Work output in manual cultivation (hour/ha)**

Work output is a key indicator for assessing labor efficiency in agricultural production systems, particularly in the Sahel region. It is expressed in man-days per hectare, according to the following relationship:  $Yield = (N \times T) / S$ , where N is the number of workers, T is the

duration of work (in days), and S is the area worked (in hectares). This ratio makes it possible to estimate the human labor load required to cover a unit of area [22].

### The yield of tropical grain legumes:

Agricultural yield represents the amount of biomass produced per unit area. In the case of cowpea, three products are valued: seeds, tops, and pods [23]. Yield is expressed in dry weight [24]. Before harvesting, a sample of 7 plants by  $1 \text{ m}^2$  was taken from each useful plot (PU) to analyze the yield components. The PU corresponds to 4 rows, excluding borders, over an area of  $70.8 \text{ m}^2$  for a total of 472 plants harvested. After air drying to constant weight, the seed yield (kg/ha) is calculated by multiplying the sum of the dry weights (PU + sample) by the conversion factor ( $10,000 \text{ m}^2 / \text{PU area}$ ). The haulm yield follows the same method [25].

#### 2.2.6 ECONOMIC EVALUATION

According to the work of [26] farm economics is based on the systematic analysis of inputs, yields and costs. In order to better understand and evaluate the economic performance of agricultural production systems. Farm incomes were estimated based on yields and average selling prices of grains, haulms and pods observed on local markets. Gross margin was calculated as the difference between total revenues and operating expenses, while net margin included all costs, including depreciation. The economic evaluation was conducted based on technical and financial data collected from 235 cowpea producers located in the Maradi and Zinder regions. These data included input costs (seeds, fertilizers, compost, pesticides), labor-related expenses (land cleaning, sowing, weeding, harvesting) and transport costs. In addition, fixed costs were integrated through the depreciation of agricultural equipment used (seeder and cultivator), calculated on the basis of their useful life.

#### 2.2.7 ECONOMIC ANALYSIS

- **Evaluation of charges**

There are two types of costs in this study: fixed costs and variable costs. Variable costs include expenses directly related to production, such as seeds, fertilizers, plant protection products, labor, and transportation. Fixed costs are related to the depreciation of equipment, namely the seeder and cultivator. The average price of equipment on the market is 150,000 and 110,000 FCFA respectively for the seeder and cultivator. The depreciation allowance is 15,000 and 11,000 respectively for the seeder and cultivator (Table 5). The depreciation allowance was calculated by dividing the respective prices of the equipment by the average lifespan of the equipment (10 years for the seeder and cultivator). Regarding the evaluation of the quantities of inputs used, for mechanized sowing, the density is 66,667 pockets/ha. With the addition of 0.6g/pocket of NPK triple 15 mixed with 25g of compost, 1667kg of compost and 40kg of NPK triple 15 per hectare will be required. The seed requirement is 20 and 25kg/ha respectively for mechanized and manual sowing.

- **Cost of inputs, labor and transportation**

The price of seeds is set at 1000 CFA francs  $\text{kg}^{-1}$  pesticides/insecticides at 25000 CFA francs  $\text{ha}^{-1}$  NPK triple 15 fertilizer at 360 CFA francs  $\text{kg}^{-1}$  organic manure (compost) at 80 CFA francs per  $\text{kg}^{-1}$ . Labor is 1500 CFA francs man-day. The average price of transporting a 100kg bag of cowpea to a weekly market is 300 CFA francs.

- **Cost of labor outside of harvest**

Non-harvest labor refers to the sum of labor costs for cultivation operations that begin from field clearing to the final weeding. For mechanized cultivation with microdosing of organomineral fertilizer, non-harvest labor amounts to 2,000 CFA francs compared to 30,000 CFA francs  $\text{ha}^{-1}$  for manual cultivation without fertilizer and 42,000 CFA francs  $\text{ha}^{-1}$  (Table 5).

- **The cost of harvesting labor** represents the sum of the labor costs of the operations that begin from harvesting to packaging, it is constant and amounts to 15,000 FCFA  $\text{ha}^{-1}$  for all cultivation methods (Table 5).

## 3 RESULTS

### 3.1 EFFECT OF USING THE GANGARIA SEEDER ON WORK EFFICIENCY

Mechanized sowing (T2 and T3) shows the best work yields, with averages of 3.62 h/ha for T2 and 3.5 h/ha for T3, calculated on the Maradi and Zinder sites. In comparison, manual sowing without fertilizer (T0) has an average of 6.25 h/ha, and manual sowing with microdosing of fertilizer (T1) reaches 8.12 h/ha. (Table 1). Analysis of variance with statistic 8.1 software shows that there is a highly significant difference between mechanized and manual sowing. There is no significant difference between mechanized sowing with fertilizer application and mechanized sowing without fertilizer application, which shows that the microdose does not increase the task. On the other hand, there is a highly significant difference between manual treatment with the addition of fertilizers and manual treatment without the addition of fertilizers (Table 1).

Table 1. Work yield depending on sowing method and site

Treatment	Work Yield (H/ha)		
	Maradi site	Zinder site	Average
T0	8.01±0.66 a	4.5±0.44 b	6.25±2.04 b
T1	8.75±1.08 a	7.5±0.69 a	8.12±0.98 a
T2	4.25±0.43 b	3±0.18 c	3.62±0.74 c
T3	3.75±0.39 b	3, ±0.46 c	3.5±0.62 c
P	0.01	0.01	0.01
resume	12.12	11.7	23.53

H/ha-Hour/hectare

Mechanized sowing with animal traction saves labor. Comparing manual sowing with mechanized sowing with animal traction, it appears that manual sowing with fertilizer application requires an average labor of 3.16 man/day/ha compared to 2 man/day/ha for mechanized sowing with fertilizer application with a yield of 0.49 day/ha (Table 2). There is no significant difference between the labor required for manual sowing without fertilizer application and that mobilized for mechanized sowing (Table 2).

Table 2. Work output depending on the sowing method and the labor used

Yield	h/d/ha	h/d/ha	d/ha	Workforce	d/ha	Workforce
Treatment	T0	T1	T2	T2	T3	T3
Average	2.08	3.16	0.51	2	0.49	2
Standard deviation	0.27	0.28	0.09	0	0.08	0

h/d/ha - man-day/hectare, d/ha - day/hectare

### 3.2 EFFECT OF MECHANIZATION COMBINED WITH FERTILIZATION ON GRAIN YIELD

On average over 2023-2024, treatment T3 (manual sowing with microdosing) gave the highest grain yield ( $959 \pm 38.01$  kg/ha), followed by T1 ( $838 \pm 26.64$  kg/ha), T2 ( $743 \pm 32.18$  kg/ha) and T0 ( $505 \pm 15.54$  kg/ha), confirming the positive effect of microdosing on production. The average yield of the two treatments obtained with the application of microdoses of compost was 274 kg/ha higher than the yield in the two treatments without microdosing, which corresponds to an increase of 43.0%. Mechanization alone resulted in an increase in grain yield of 180 kg/ha, an improvement of 26.8% compared to manual sowing (Table 3). Analysis of variance with Statistics8.1 software shows that treatment (T3) is highly significant and different from other treatments. On the other hand, treatment (T1) is significantly different from treatment (T2), but the latter is significantly different from T0. Indeed, the mechanization of sowing with the Gangaria seeder combined with mechanized weeding and organomineral manure contributed to the improvement of cowpea grain yield by 88.5 and 14.6% respectively compared to T0 and T1 (Table 3).

Statistical analysis shows highly significant differences between treatments ( $p < 0.001$ ), between sites ( $p < 0.001$ ), and between years ( $P < 0.012$ ), reflecting the cumulative effect of climate, sowing method, and inputs on agronomic performance.

Table 3. Cowpea grain yield as a function of treatment and site

Site	Year	Grain yield (kg/ha)			
		T0	T1	T2	T3
Zinder	2023	496±13.76 d	814±12.91b	714±7.07 c	935±23.22 a
	2024	495±9.57d	844±17.97b	716±12.5d	924±25.62 a
Maradi	2023	516±11.08 d	825±12.91 b	785±7.07 c	981±23.22 a
	2024	511±16.52 d	868±26.30 b	770±18.25 c	995±31.09 a
Average	2023	506±15.75d	819±13.21b	749±39.40 c	958±30.81a
	2024	503±16.24 d	856±24.41b	743±32.17 c	959±46.32a
Average	2023-2024	505±15.54 d	838±26.64b	743±32.18c	959±38.01a
Source					P
Site					0.001
Year					0.012
Treatment					0.001
Site *Year					0.888
Site * Treatment					0.001
Year * Treatment					0.008
Site * Year * Treatment					0.256
resume					3.67

### 3.3 EFFECT OF MECHANIZATION COMBINED WITH FERTILIZATION ON THE YIELD OF DRIED HAULM

The average yields of dried haulm from 2023-2024, calculated on the Maradi and Zinder sites, show that T3 is the best performing ( $1,052 \pm 40.86$  kg/ha), followed by T1 ( $925$  Kgha<sup>-1</sup>), T2 ( $897$ ) and T0 ( $838$ ), highlighting the positive effect of microdosing. On average, microdosing (T3) increases the yield of dried haulm by 25.5% compared to the treatment without fertilizer (T0), based on the combined data of 2023 and 2024 for the Maradi and Zinder sites. Mechanization allowed an increase in haulm yield of 93 kg/ha, corresponding to an improvement of 10.5% compared to manual sowing. Analysis of variance with Statistics 8.1 software shows that treatment T3 is highly significant and is different from the other treatments. On the other hand, treatment T1 is significantly superior to treatment T2 but treatment T2 is not significantly different from T0 (Table 4). Indeed, these results show that mechanization combined with organomineral fertilization contributes to the increase in haulm yield of 24.81 and 11.34% respectively compared to treatments T0 and T1. Statistical analysis also shows highly significant differences between treatments ( $p < 0.001$ ), between sites, reflecting the cumulative effect of pedology, sowing method and inputs on agronomic performance. On the other hand, there is no significant effect between years ( $p < 0.143$ ).

Table 4. Yield of dried haulm over two (2) years at the different sites

Site	Year	Dried haulm yield (kg/ha)			
		T0	T1	T2	T3
Zinder	2023	810±22.17 c	908±12.90 b	815±12.90 c	1011±22.86 a
	2024	820±18.25c	916±11.08 b	839±17.50 c	1035±12.90 a
Maradi	2023	878±22.17c	935±12.90b	965±12.90	1073±22.86a
	2024	842±17.07 c	940±18.25 b	970±18.25b	1090±48.30 a
Average	2023	844±39.35 c	921±17.47b	890±80.84bc	1043±37.60 a
	2024	831±20.31 c	928±18.88 b	904±72.08.34 b	1062±43.99 a
Average	2023-2024	838±30.93,52 c	925±17.93b	897±74.36 b	1052±40.86a
Source					P
Site					0.001
Year					0.143
Treatment					0.001
Site *Year					0.058
Site * Treatment					0.001
Year * Treatment					0.104
Site * Year * Treatment					0.432
resume					5.09

### 3.4 ECONOMIC EVALUATION

The cost of non-harvest labor varies from 2000 (T3) to 42000 FCFA ha<sup>-1</sup>(T1). It is higher for manual sowing with fertilization in the form of microdose. This result shows that the use of the adapted Gangaria seeder combined with mechanized weeding has a positive effect on labor savings in cowpea cultivation. It allows for a saving of 40000 FCFA ha<sup>-1</sup>(Table 5). The seed requirement is 20000 FCFA ha<sup>-1</sup>with the use of the Gangaria seeder compared to 25000 FCFA ha<sup>-1</sup>for manual sowing. Indeed, the Gangaria seeder allows for a saving of 5000 FCFA ha<sup>-1</sup>(Table 5) on seed costs. Compost is the organic manure used in the form of microdose with the Gangaria seeder and in manual sowing with fertilizer. On the other hand, if farmers produce it locally, they would save 133,360 CFA francs per ha<sup>on</sup>the cost of growing cowpea (Table 5). The selling price was obtained during the survey conducted in 2023 among 235 cowpea producers spread between the Maradi and Zinder regions. On this basis, the average selling price of a 100 kg bag of hulled cowpea varies from 32,000 to 44,000 CFA francs during the year. The selling price of a 25 kg bag of dried tops varies from 750 to 1,250 CFA francs during the year. The average selling price of a 45 kg bag of hulls is 6,500 CFA francs. The revenues from the sale of grains, dried haulms and hulls were estimated by multiplying respectively the average grain yields (Table 3) and the average dried haulm yields obtained during the trial (Table 4) by the different corresponding prices. The estimated revenues according to treatments are 308900, 513040, 454940, 587220 FCFA ha<sup>-1</sup> respectively for T0, T1, T2, and T3. It appears that the revenues (587220 FCFA ha<sup>-1</sup>) estimated on the production from mechanized sowing with fertilization (T3) are higher than the other treatments. The smallest amount of revenue is recorded at the control level T0 (308900 FCFA). The net margin is equal to the difference between the revenues and the estimated costs of the types of crops. The costs are composed of variable costs and fixed costs. From the analysis of the results, it emerges that treatments T0, T1, T2, T3 recorded the respective net margins of 187700, 203760, 331365, and 277485 FCFA ha<sup>-1</sup>(Table 5). The net margin obtained is 331365 FCFA ha<sup>-1</sup> with mechanized cultivation without the addition of organomineral fertilization against 187700 and 203 760 FCFA ha<sup>-1</sup> respectively for treatments T0 and T1 (Table 5). The net margin obtained with T2 is also higher than that obtained with T3. The difference in margin between T2 and T3 is 53880 FCFA ha<sup>-1</sup>. It can be reduced if the producer reduces or cancels the cost of compost. This is only possible when the farm begins to produce it with the droppings of draft animals (Table 5). The purchase of compost is not profitable, which is why the net margin of T2 is higher than that of T3. Cultivating cowpea with the adapted Gangaria seeder contributes to improving the profitability of cowpea cultivation by gaining a net margin of 331365 FCA ha<sup>-1</sup>this net margin should have been 464725 FCA ha<sup>-1</sup>if the compost had been produced by the farm. The net margin of treatment T2 is higher than that of treatment T3, which shows that the combined effect of mechanization and localized fertilization had no effect on the net margin.

**Table 5. Economic analysis of cowpea cultivation**

Treatment	T0	T1	T2	T3
Grain sale	191900	318440	282340	364420
Fane sale	101000	167600	148600	191800
Cosse Sale	16000	27000	24000	31000
Recipes	308900	513040	454940	587220
	Production cost			
Seeds	25000	25000	20000	20000
Pesticides/Insecticide	25000	25000	25000	25000
Chemical fertilizer	0	14400	0	14400
Organic manure (compost)	0	133360	0	133360
Non-harvest labor	30000	42000	2000	2000
Harvest labor	16000	27000	24000	55000
PICS bag	5000	9000	8000	10000
Simple bag	12625	20950	18575	23975
Transportation	7575	12570	0	0
Seeder amortization	0	0	15000	15000
Weeder amortization	0	0	11000	11000
Total	121200	309280	123575	309735
Net margin	187700	203760	331365	277485

## 4 DISCUSSION

### **Work efficiency and labor saving**

The significant reduction in labor loads in mechanized sowing (3.5 h/ha) compared to manual sowing (6.25 h/ha without fertilization and 8.12 h/ha with fertilization) shows the efficiency of the modified Gangaria seeder. These results corroborate the observations of [19], which emphasize that small mechanization allows improving labor productivity, thus reducing labor requirements.

### **Improved grain yield**

The treatment that combines mechanized sowing and fertilization (T3) generated an average yield of 959 kg ha<sup>-1</sup> an increase of 88.5% compared to the manual treatment without fertilizer (T0). These results confirm the work of [10], which indicates that mechanized sowing associated with microdose of fertilizer contributes to improving agricultural yield. Compared to manual sowing, mechanized sowing is characterized by a higher density, increased regularity and a sowing depth that limits the access of predators, which explains the observed yield differences.

### **Yield in dried haulm**

Mechanization combined with organomineral fertilization also contributes to the increase in haulm yield of 24.81% compared to T0 treatments. These results are consistent with the work of [23] which had already highlighted the multiple valorization of cowpea (grains, haulm, pods) to strengthen the resilience of small rural producers.

### **Economic analysis and profitability**

Mechanization reduced non-harvest labor costs (2000 FCFA ha<sup>-1</sup> compared to 42000 FCFA ha<sup>-1</sup> for fertilized manual sowing). However, the highest net margin was recorded for mechanized sowing without fertilization (T2), due to the high cost of compost in T3. This observation confirms the analyses of [26] which emphasize the need to control variable costs to optimize the profitability of farms. If the compost were produced locally, the net margin of T3 would be considerably improved to reach 464725 FCFA ha<sup>-1</sup>.

### **Combined effect of mechanization and fertilization**

Although grain yield is maximized by the T3 treatment, the combined economic effect of mechanization and fertilization remains limited in the short term due to the cost of purchasing compost. This economic paradox demonstrates the need to integrate local compost production to fully benefit from the use of the modified Gangaria seeder.

## **5 CONCLUSION**

This study demonstrated that adapting the Gangaria seeder, combined with localized application of compost and mineral fertilizer, significantly improves the productivity and economic profitability of cowpea cultivation. Mechanized sowing has halved labor time per hectare and increased grain and haulm yield. Although the cost of compost can reduce net margins, local production of compost would maximize profits. The higher yields observed with mechanized sowing are mainly due to higher seeding density, more regular seed distribution, and optimal seeding depth. These combined factors help limit predator access to seeds, thereby reducing emergence losses and promoting better crop establishment. The dissemination of the adapted Gangaria seeder, supported by training programs and access to agricultural equipment, represents a strategy to strengthen food security and income for cowpea producers in Niger.

### **ACKNOWLEDGMENT**

The authors extend their sincere thanks to the Dan Dicko Dankoulodo University of Maradi (UDDM), the National Institute of Agronomic Research of Niger (INRAN) and the Research Development Project for Food and Nutritional Security Phase 2 (RED-SAACC2) for their technical and financial support which made this study possible. Our thanks also go to the agricultural producers as well as the field agents of the Maradi and Zinder regions for their valuable collaboration during the different phases of the experiment.

### **REFERENCES**

- [1] Z. Abdoukader, A. Laouali, A. Amadou, et M. Ali, « Analyse De La Rentabilité Economique Des Systèmes De Production Du Niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp), Dans La Région De Zinder », vol. 17, p. 15-23, 2024, doi: <https://doi.org/10.9790%2F2380-1711011523>.
- [2] Haladou, I Oumarou, S. B., T. A, et Y. B;; « Evaluation Des Rendements En Graines Et Fanes Des Varietes Ameliorees Et Locales De Niebe [*vigna unguiculata* (L.) Walp.] En Champ Ecole Et En Champ De Multiplication De Semences a Karma (niger) », vol. 29, p. 19-17, 2017.
- [3] M.A. E, « Rapport campagne agricole Niger 2024», Document Technique Niger, 51p 2025.
- [4] S. B. Bachirouu, « Hétérogénéité Spatiale Et Fonctionnelle De Surface Du Sol Et Son Influence Sur La Production Du Niébé Dans Les Exploitations Familiales Au Niger Thèse Dirigée Par M. Jean-Marie Karimou Ambouta, Université Abdou Moumouni De Niamey Et Par M. Gilles Fronteau, Université De Reims Champagne-Ardenne», UAM, Niamey, 2019.342 p.
- [5] N. ABDOURAHAMANE, « Effets De La Mécanisation Des Opérations Culturelles Sur La Productivité Du Mil (*pennisetum glaucum* L.) Au Niger », DOCTORAT, UNIVERSITE DAN DICKO DANKOULODO DE MARADI, Maradi/Niger, 2021.159 p.
- [6] Warouma Arifa<sup>1</sup>, Chaibou Mahamadou<sup>2</sup>, Saley Adamou Laouali<sup>2</sup>, « Animal Traction and Agricultural Productivity In Niger »: vol. 52, n° 01, p. 11, 2021.ISSN00845841.
- [7] S. I. Nterany et B. David, « Oléagineux et Niébé», Document technique, (2015) 30p.
- [8] A. Maimouna, I. Baoua, M. M. Rabe, A. A. Saidou, et L. Amadou, « Étude diagnostique des principales contraintes de la culture du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) dans les régions de Maradi et Zinder au Niger», 2020.vol 6, ISSN 1813-548X.
- [9] L. Philippe, H. Michel, et V. Eric, *La traction animale*. 2010. 243P ISBN 978-2-7592-0887-6.
- [10] J. B. Aune, A. Coulibaly, et K. Woumou, « Intensification of dryland farming in Mali through mechanization of sowing, fertiliser application and weeding», *Arch. Agron. Soil Sci.*, vol. 65, n° 3, p. 400-410, févr. 2019, doi: 10.1080/03650340.2018.1505042.
- [11] N. Abdourahamane, A. K. Saidou, et J. B. Aune, « Development and Use of a Planter for Simultaneous Application of Seed, Fertilizer and Compost in Pearl Millet Production in Niger, Effects on Labor Use, Yield and Economic Return», *Agronomy*, vol. 10, n° 12, p. 1886, nov. 2020, doi: 10.3390/agronomy10121886.
- [12] B. V. Bado, « Rôle Des Légumineuses Sur La Fertilité Des Sols Ferrugineux Tropicaux Des Zones Guinéenne Et Soudanienne Du Burkina Faso», Thèse de Doctorat, 197 p. 2002. <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/20487/20487.html>.
- [13] S. Wilfried, Effets de la fertilisation organominérale sur le rendement du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Et les paramètres chimiques du sol en situation réelle de culture à l'ouest du Burkina Faso « Diplôme D'ingénieur Du Développement Rural Option: Agronomie » 2016.72 P.
- [14] H. Zeinabou, Contribution du niébé et des fumures organiques et minérales à la nutrition azotée et aux rendements du mil dans les systèmes de cultures en zone sahélo-soudanienne au Niger « Thèse, Université Nazi Boni, 2017.154p.
- [15] H. Ishikawa, I. Drabo, S. Muranaka, et O. Boukar, « Guide pratique sur la culture du niébé pour le Burkina Faso», Document Technique, IITA, 2013.32 P. ISBN: 978-978-8444-15-2.
- [16] B. Sultan et M. Gaetani, « Agriculture in West Africa in the Twenty-First Century: Climate Change and Impacts Scenarios, and Potential for Adaptation», vol. 7, n° 1262, 2016, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262>.
- [17] M. Diallo, V. M. T.A., H. E?, et de B. W., « \_rapport De La Collecte Des Données Primaires Pour L'évaluation Du Secteur Des Semences Issd/Sahelniebe», 2021.
- [18] O. Bakoye *et al.*, « Production et Stockage d'Arachide », 2019, doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p25>.
- [19] F. Baudron *et al.*, « Re-examining appropriate mechanization in Eastern and Southern Africa: two-wheel tractors, conservation agriculture, and private sector involvement », *Food Secur.*, vol. 7, n° 4, p. 889-904, Août 2015, doi: 10.1007/s12571-015-0476-3.
- [20] « The economics of animal traction in Africa. *World Animal Review*», vol. 78, n° 1, p. 3-10, 1994.
- [21] Starkey, P. (1997). *The Introduction of Animal Traction in Farming Systems: Guidelines for Decision-making*. FAO Animal Production and Health Paper 125. FAO, Rome. Document technique.
- [22] Houmy, K., Clarke, L. J., Ashburner, J. E., & Kienzle, J. (2013). *Développement de la mécanisation agricole: Un manuel pour les planificateurs et les décideurs*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome.
- [23] M. J. Mortimore et B. Singh, « Cowpea in traditional cropping systems ». 1995.
- [24] J. D. Ehlers et A. E. Hall, « Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Field Crops Research*», vol. 53, p. 187-204., 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00031-2).
- [25] CILSS, « Elaboration rendement du niébé ». Protocole, 22p. 2021.
- [26] J. L. Dillon et J. B. Hardaker, « Farm management research for small farmer development. FAO. » 1993.Document technique.

## L'informatique comme outil et support pour l'optimisation de l'environnement des affaires: Regard sur les petites entreprises privées et informelles

### [ Informatics as a tool and enable for business environment optimization: An examination of small private and informal business ]

*Omatete Okitodinga Jacques, Shungu Ya Shungu Jacques, Lokoto Dungu Junior, and Nasibu Amisibo Fiston*

Université Patrice Emery Lumumba, Lumumbaville, Sankuru, RD Congo

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This article examines the importance of information technology as a tool and support for informal private sector operators. Despite limited use of information technology, entrepreneurs recognize the importance of telecommunications, particularly smartphones, for their businesses. The article raises questions about these operators' understanding and adoption of information technology, while advocating for increased awareness of its benefits.

The objectives of this study include increasing the appeal of information technology tools and recognizing their essential role in communication and improving productivity. As a pillar of the business environment, information technology is presented as indispensable for management, monitoring, and innovation.

The rapid evolution of information technology and its integration into various sectors underscore the need for businesses to adapt to new technologies. Social media, in particular, is identified as crucial platforms for marketing and business development. They strongly influence consumer purchasing decisions and facilitate the creation of lasting customer relationships.

**KEYWORDS:** IT, tool, support, optimization, business environment, small business.

**RESUME:** Cet article examine l'importance de l'informatique comme outil et support pour les opérateurs du secteur privé informel. Malgré une utilisation limitée des technologies informatiques, les entrepreneurs reconnaissent l'importance des télécommunications, notamment des smartphones, pour leurs activités. L'article soulève des questions sur la compréhension et l'appropriation de l'informatique par ces opérateurs, tout en plaidant pour une sensibilisation accrue à ses avantages.

Les objectifs de cette réflexion incluent l'augmentation de l'attrait pour les outils informatiques et la reconnaissance de leur rôle essentiel dans la communication et l'amélioration de la productivité. L'informatique, en tant que pilier de l'environnement des affaires, est présentée comme indispensable pour la gestion, le monitoring et l'innovation.

L'évolution rapide de l'informatique et son intégration dans divers secteurs soulignent la nécessité pour les entreprises de s'adapter aux nouvelles technologies. Les réseaux sociaux, en particulier, sont identifiés comme des plateformes cruciales pour le marketing et le développement commercial. Ils influencent fortement les décisions d'achat des consommateurs et facilitent la création de relations clients durables.

**MOTS-CLEFS:** informatique, outil, support, optimisation, environnement des affaires, petites entreprises.

## **1 INTRODUCTION**

### **1.1 PRÉSENTATION DU PROBLÈME**

Dans le cadre de travaux de terrain sur l'intégration des stratégies de renforcement des capacités en productivité, plusieurs descentes sur le terrain des entrepreneurs informels et aux producteurs d'activités du secteur privé, les données brutes informatisées ont exprimé une tendance à l'ignorance de l'informatique comme outil partenaire ou comme auxiliaire.

Pourtant, aucune n'a été rencontrée l'absence de l'outil simple de télécommunication (le téléphone). Parmi les modèles rencontrés de ce dernier, le Smartphone, Androïde et autres dotés des applications internet ont fait objet d'usage intempestif ou nécessairement périodique pour des motifs sécuritaires (analyse des données récoltées sur les points de vente des produits de première nécessité). Une idée sur la connaissance de l'informatique, de son instrument auprès des opérateurs de la catégorie sus évoquée a permis de ressortir une question de base.

Comment les opérateurs du secteur privé informel peuvent-ils s'approprié de l'informatique entant qu'outil et support dans un environnement des affaires efficient ? En subséquence, les questions sont telles que connaissent-ils ce qu'est l'informatique ? A l'affirmatif ont-ils l'idée sur son invasion dans une étape de leurs activités ? Ou encore ne sentiraient-ils pas inutile, ennuyés si pas une dépense de trop pour s'en procurer ? Qu'à cela ne tienne, dans la présente réflexion, nous voudrions d'accommoder les notes sur l'informatique, comme outil et support.

### **1.2 DES OBJECTIFS**

A travers cette réflexion, nous avons pensé ouvrir une piste de discussion scientifique afin d'obtenir auprès de penseurs ce qui suit:

- Un peu plus d'attrait (ce qui attire et séduit) à l'ordinateur et ses services;
- Sentir qu'au-delà de ses qualités comme science nouvelle, l'informatique est un outil de communication au même titre que la langue française, au même titre que l'organe de presse, au même titre que les spots publicitaires aux fins marketeurs;
- Se rendre en évidence que l'outil informatique est une nécessité si pas un impératif pour un entrepreneur dans un environnement d'entreprenariat et par-dessus une ressource financière.

### **1.3 COMPRENDRE LE THEME ET SES CONCEPTS**

Comme vous le constatez, notre thème de ce jour prend un sens interpellateur avec quelques aspects pédagogiques simples.

Il s'agit de l'Informatique avec deux bases: outil et support, et l'environnement des affaires.

L'informatique est un outil du travail qui n'épargne pas une seule structure ou communauté du travail à ce jour. Et pour nous intellectuels parce que nous le sommes réellement, nous nous en servons mais le degré de son exploitation est différent. Ce notre support du travail.

Chacun de nous qu'il s'en était servi un jour, il conclurait lui-même qu'avec l'ordinateur, il enseigne mieux ou enseigne vite et autres services.

A titre d'exemple, tous nous utilisons le téléphone, ce déjà le numérique, les services rendus par le téléphone ce déjà l'informatique.

Mais au-delà de tout ça, notre boîte, nos étalages, nos contacts deviennent pour nous un casse-tête lorsqu'il n'est pas encore numérisé. C'est ici également que l'informatique prend la place d'un support ou d'un auxiliaire dans notre environnement entant que milieu d'affaire.

A vrais dire, l'informatique est le premier pilier d'un environnement des affaires, elle accompagne notre cerveau, elle garantit notre assurance qualité, elle nous prévient et nous excite au travail. Elle sécurise nos données.

Il n'est pas possible de s'en passer.

Ci-après quelques concepts que nous connaissons déjà:

- Informatique: une science de traitement automatique de l'information, aux moyens des programmes ou logiciels (Dreyfus, 1985).
- Ordinateur: est une machine résultant d'une succession de transformation et amélioration apportées à divers mécanismes, inventés par l'homme, et servant au traitement automatique de l'information (Giret, 1995).
- Processeur: Le composant qui exécute les programmes En Anglais: « CPU » Central Processing Unit.
- Rame: La mémoire vive de l'Ordinateur  
En anglais: « Random Access Memory »
- Disque dur: Mémoire de stockage magnétique d'une grande capacité
- La carte mère: Support d'interconnexion des composants de l'Ordinateur.
- Les périphériques: un périphérique informatique est un dispositif connecté à un système de traitement de l'information central et qui ajoute à ce dernier des fonctionnalités (Bukanga, 2016).
- Programme: Est une suite d'opérations prédéterminées destinées à être exécutées de manière automatique par un appareil informatique en vue d'effectuer des travaux des calculs arithmétiques ou logiques (Kapangala, 2020).
- Le système d'exploitation: (Operating System) est un ensemble des programmes chargé d'établir une relation entre les différentes ressources matérielles, logiciels et l'utilisateur (Tshibaka, 2020).
- Une application: un programme (ou un ensemble logiciel) directement utilisé pour réaliser une tâche, ou un ensemble de tâches élémentaires d'un même domaine ou formant un tout (Dreyfus, 1993).
- Icône: Symbole graphique affiché à l'écran représentant un logiciel ou un fichier.
- Informaticien: est une personne spécialisée en informatique.
- Utilisateur: une personne ou ensemble de personnes qui utilisent quelque chose.

#### 1.4 EVOLUTION ET SERVICES ACTUELS DE L'INFORMATIQUE

Peut-être on a un jour entendu parler de certains noms: le plus populaire, c'est Bill Gates, BINAC, ENIAC, Microsoft...

L'informatique est une discipline relativement jeune mais très dynamique aussi dynamique que la pensée humaine. Elle est dynamique dans sa conception, dans ses architectures et dans ses applications. En ce moment où nous parlons, une nouvelle réalité vient de voir le jour en informatique.

Depuis le géant ordinateur de la Philadelphie jusqu'à ce jour, la science informatique a connu une évolution fulgurante. Par exemple d'une grande maison, aujourd'hui à une miniature. D'une multitude de tubes cathodiques à des très petites pièces appelés puces véhiculés par l'électronique.

Parlons un peu de ses services: nous risquons d'abuser de votre temps si nous nous mettons en illustrer. Si bien que jamais une exhaustivité ne peut se présenter.

Et voici quelques principaux services:

- Traitement des textes, des travaux intellectuels, calculs, des graphiques, bref le domaine propre à l'intellectuel enseignant;
- Envoi et réception des textes (transfert des informations);
- Activités commerciales de tout genre;
- Services des banques de toute forme et transactions financières diverses, mais malheureusement une bémol cybercriminalité;
- Amélioration de la qualité des travaux (Texte & Images);
- L'Art et technologie, le modèle et autres créations en techniques. Pas un seul domaine sans l'informatique.
- Mais nous devons au-delà de tout ceci revenir à notre question.

## **1.5 POURQUOI L'INFORMATIQUE EN MILIEU DES AFFAIRES ?**

Répondre avec précision à cette question, à notre sens, ne serait qu'une utopie. Mais tous nous pouvons converger sur les éléments ci-après pour pouvoir répondre à la question:

L'informatique contribue dans la performance des entreprises. Une entreprise est appelée à se servir de l'outil informatique pour obtenir les potentialités d'amélioration dans sa façon de travail: gestion, prévision et monitoring. La théorie la qualifie comme un support permanent des entreprises et surtout dans l'entrepreneuriat moderne. Environnement des affaires. Ce composé est ordinairement compris comme milieu ou paysage des entreprises de production, commerce et unification des capitaux et bénéfice.

En ce sens, les infrastructures, les ressources logistiques, financières sans mettre de côté les ressources humaines forment dans leur ensemble fonctionnel un environnement des affaires (Business Campund).

Il est difficile alors de séparer les concepts si bien que lorsque l'environnement signifie « tout ce qui est autour de soi » affaire signifie à son tour, une chose dont on doit s'occuper à faire (sens conventionnel pour les choses à traiter et faire un marché). Les anglophones considèrent les affaires et les entreprises comme un business.

Exemple l'application WhatsApp Business un programme simple, sûr et fiable pour des entreprises de communiquer avec leurs clients. Facebook un réseau social pour le e-commerce, Instagram, LinkedIn, Twitter ou Snapchat...

L'avènement de l'industrie 4.0, le web 3 et l'intelligence artificielle générative et son adoption à l'échelle internationale, et la diffusion des technologies numériques appelées SMACIT (Social, mobile, analytique, Cloud, Internet des objets), a donné naissance à une révolution transformationnelle des organisations pouvant les rendre plus créatives et agiles et donnant ainsi un signal d'alarme pour les entreprises non numériques de revoir leurs activités traditionnelles moins compétitives.

Selon Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., et Haenlein, M. (2021) les entreprises ne pouvant pas s'adapter et suivre ces évolutions deviennent moins attrayantes pour les clients et sont susceptibles d'être abandonnées pour des entreprises qui exploitent efficacement les opportunités offertes par le digital.

En effet, par ces outils digitaux tels que les smartphones, tablettes, ordinateurs, la technologie s'est imposée non seulement dans notre vie, mais aussi dans celle de l'entreprise (Dudézert, 2018) cité par Koné et all (2023).

Ils ont créé une mutation continue dans le comportement au sein des entreprises comme l'évolution de nouvelles compétences et talents numériques, le télétravail, de même que les clients et consommateurs suite au changement de leurs besoins et facilité d'accès aux produits des concurrents pour faire par exemple des comparaisons au point de vue qualité, prix, services après-ventes. Ceux-ci sont favorisés par une disponibilité accrue des données et changement de paysage concurrentiel, notamment apparition des Startups, plateformes numériques, le commerce électronique, les nouvelles formes de publicité à travers Facebook, Twitter, jeux...

Les outils numériques ont également contribué au changement de l'environnement de l'entreprise, vu la mondialisation, la modification des choix stratégiques des pays et évolution au niveau des secteurs d'activités d'entreprise (l'IA par exemple) (Boersma et Kingma, 2005).

Face à ces changements provoqués principalement par l'entrée en force des technologies numériques, et qui sont nommés dans notre travail comme facteurs explicatifs, l'entreprise est appelée à entamer son projet de transformation digitale, d'adaptabilité aux nouveaux systèmes technologiques numériques afin de garantir sa survie dans un monde concurrentiel en forte évolution (Koné et all, 2023).

## **1.6 LES RESEAUX SOCIAUX POUR CAPITALISER LES AFFAIRES**

En plus de créer des relations entre les individus, les **réseaux sociaux** permettent de partager ou de publier du contenu (articles, photos, vidéos, etc.) et de développer l'image de son entreprise. Ils sont devenus un nouvel espace incontournable pour trouver des prospects et vendre ses produits ou ses services.

Plusieurs études ont démontré que les réseaux sociaux exercent une influence significative sur le processus d'achat des consommateurs:

1. Une étude réalisée par le Pew Research Center en 2021 a révélé qu'environ 54 % des utilisateurs de médias sociaux affirment que ces plateformes influencent leur décision d'achat.

2. L'organisation Hootsuite a mené une étude en 2022 qui montre que 73 % des consommateurs ont utilisé les réseaux sociaux pour rechercher des produits avant d'effectuer un achat.
3. Une étude de Sprout Social, menée en 2023, indique que 50 % des utilisateurs de réseaux sociaux ont déclaré avoir acheté un produit après l'avoir vu sur une plateforme sociale.

Ces données illustrent clairement l'impact considérable des réseaux sociaux sur le comportement d'achat des consommateurs.

Aujourd'hui, les réseaux sociaux font plus que jamais partie du quotidien des consommateurs. Ils vont jusqu'à impacter leur comportement d'achat puisque 38% des internautes se fient aux commentaires lus sur les réseaux avant de prendre leur décision finale. Certains réseaux sociaux tels que Facebook et Instagram permettent de faire du social shopping, c'est-à-dire intégrer vos produits ou services sur vos pages pour pouvoir les vendre facilement. Si vous avez des prospects bien identifiés et une communauté fidèle, cela vous permettra de développer votre activité.

Les clients de votre entreprise peuvent faire croître vos ventes de plus d'une façon. Soigner votre relation client et gérer leurs insatisfactions vous permettront de les transformer en ambassadeurs défenseurs de votre marque.

Les avantages commerciaux et de parrainage, affichés sur vos réseaux pour vos clients, est une façon idéale de fidéliser, mais aussi d'inciter à parler de vous à d'autres personnes et ainsi acquérir une nouvelle clientèle. Gardez à l'esprit que le bouche-à-oreille est toujours quelque chose d'important et d'efficace.

Aujourd'hui, pour embaucher leurs futurs collaborateurs, de nombreuses entreprises utilisent les réseaux sociaux (notamment LinkedIn et Facebook) dans leur processus de recrutement. Les offres d'emplois publiées sur les médias sociaux sont souvent très partagées et rediffusées par les internautes. Cela permet de toucher de nombreuses personnes et de gagner un temps précieux. Il est donc plus facile de sélectionner et contacter des profils pertinents et recommandés par d'autres membres.

## 2 MÉTHODE

### 2.1 APPROCHE DE RECHERCHE

Pour explorer l'appropriation de l'informatique par les opérateurs du secteur privé informel, nous avons adopté une approche qualitative, permettant une compréhension approfondie des perceptions, attitudes et comportements des entrepreneurs face aux outils numériques. Cette méthode est particulièrement adaptée pour saisir la complexité des dynamiques sociales et économiques qui influencent l'adoption des technologies.

**Méthodologie participative:** Nous avons intégré des éléments de recherche participative, impliquant les entrepreneurs dans le processus de recherche. Cela a permis de construire un rapport de confiance et d'encourager une discussion ouverte sur leurs expériences et défis.

**Analyse Contextuelle:** L'approche qualitative nous a permis de contextualiser les résultats en tenant compte des spécificités culturelles, économiques et sociales qui caractérisent le secteur informel. Cela nous a aidés à mieux comprendre les obstacles et les opportunités liés à l'informatique.

### 2.2 COLLECTE DE DONNÉES

La collecte de données a été réalisée en plusieurs étapes:

**Entretiens semi-directifs:** Des entretiens semi-directifs ont été menés avec 30 entrepreneurs sélectionnés de manière stratégique, représentant différents secteurs d'activité (commerce, services, production). Ces entretiens ont permis d'explorer en profondeur leur perception de l'informatique, leur expérience d'utilisation, et les défis rencontrés. Les questions ont été conçues pour encourager des réponses détaillées et personnelles.

**Observations participatives:** Des observations ont également été réalisées dans divers contextes d'affaires, tels que des marchés, des ateliers et des bureaux. Cette méthode nous a permis de voir directement comment les entrepreneurs interagissent avec les outils informatiques dans leur environnement quotidien, d'identifier les pratiques efficaces et de noter les obstacles à l'utilisation.

**Analyse documentaire:** En parallèle, une analyse documentaire a été effectuée, incluant des rapports précédents sur l'informatique dans le secteur informel et des études de cas. Cela a enrichi notre compréhension du contexte et a permis de trianguler les données recueillies.

**Échantillonnage:** Un échantillonnage par convenance a été utilisé pour sélectionner les participants, en veillant à inclure des entrepreneurs de différents niveaux d'expérience, de taille d'entreprise et d'accès à la technologie. Cela a permis de capturer une variété de perspectives.

**Transcription et analyse:** Les entretiens ont été enregistrés, transcrits et analysés à l'aide d'une approche d'analyse thématique. Les thèmes récurrents ont été identifiés pour mieux comprendre les dynamiques autour de l'appropriation de l'informatique.

### **3 RÉSULTATS**

#### **3.1 CONNAISSANCE ET UTILISATION DE L'INFORMATIQUE**

Les résultats de l'étude indiquent que, bien que la majorité des opérateurs du secteur privé informel aient une connaissance de base de l'informatique, leur utilisation des outils numériques reste limitée et souvent superficielle.

**Utilisation des Smartphones:** Les smartphones sont principalement employés pour des fonctions de communication telles que les appels et l'envoi de messages, ainsi que pour accéder à des applications de messagerie instantanée. Cependant, l'utilisation d'applications professionnelles, telles que celles dédiées à la gestion de la relation client (CRM) ou à la comptabilité, demeure rare.

**Outils informatiques non exploités:** Une faible proportion d'entrepreneurs utilise des logiciels de gestion, des outils de traitement de texte ou des tableurs, malgré leur potentiel pour automatiser des tâches répétitives et améliorer l'efficacité. Par exemple, seulement 25 % des répondants affirment utiliser un tableur pour suivre leurs ventes, ce qui limite leur capacité à analyser les données et à prendre des décisions éclairées.

**Barrières à l'utilisation:** Les obstacles identifiés à une utilisation plus approfondie incluent le manque de formation adaptée et l'accès limité à des ressources informatiques, comme des ordinateurs et une connexion Internet fiable. De plus, la méfiance envers la technologie et la peur de l'inconnu constituent des freins psychologiques qui empêchent une adoption plus large.

#### **3.2 PERCEPTION DE L'INFORMATIQUE**

La perception de l'informatique parmi les entrepreneurs révèle des attitudes variées qui influencent leur adoption des technologies numériques.

**Complexité et coût:** Une majorité d'entrepreneurs considère l'informatique comme un domaine complexe et coûteux, ce qui freine leur volonté d'investir dans des outils numériques. Certains estiment que les coûts d'achat de matériel et de logiciels, ainsi que les frais de formation, représentent un obstacle insurmontable dans leur contexte économique.

**Reconnaissance du potentiel:** Malgré ces réticences, un nombre croissant d'entrepreneurs commence à reconnaître le potentiel de l'informatique pour améliorer la gestion de leurs affaires. Par exemple, 40 % des répondants admettent que l'utilisation d'outils numériques pourrait leur permettre de mieux organiser leurs activités, d'améliorer la communication avec leurs clients et d'optimiser leur gestion des stocks.

**Exemples de bonnes pratiques:** Quelques entrepreneurs qui ont intégré des solutions numériques dans leurs opérations témoignent d'une amélioration significative de leur productivité et de leur rentabilité. Cela inclut l'utilisation de réseaux sociaux pour promouvoir leurs produits, ce qui leur permet d'attirer de nouveaux clients et d'accroître leur visibilité sur le marché.

**Appel à l'action:** Ces résultats soulignent l'importance d'une sensibilisation accrue aux bénéfices de l'informatique, ainsi que la nécessité de formations adaptées pour aider les entrepreneurs à surmonter leurs appréhensions et à s'approprier ces outils.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 IMPORTANCE DE L'INFORMATIQUE DANS LES AFFAIRES

L'informatique est devenue un pilier essentiel pour l'efficacité des entreprises modernes, en particulier dans un environnement commercial en constante évolution. Son rôle dépasse le simple traitement de l'information; elle est un vecteur d'innovation et de compétitivité.

**Amélioration des processus internes:** L'informatique permet d'automatiser des tâches répétitives, ce qui libère du temps pour les entrepreneurs afin qu'ils se concentrent sur des activités à plus forte valeur ajoutée, comme le développement de nouveaux produits ou l'amélioration du service client.

**Prise de décision éclairée:** Grâce à des outils d'analyse de données, les entreprises peuvent désormais prendre des décisions basées sur des données concrètes plutôt que sur des intuitions. Cela améliore la précision des prévisions financières et opérationnelles, ce qui peut conduire à une meilleure allocation des ressources.

**Compétitivité sur le marché:** Les entreprises qui adoptent des solutions informatiques peuvent réagir plus rapidement aux changements du marché, s'adapter aux besoins des clients et optimiser leur chaîne d'approvisionnement. Par exemple, l'utilisation de logiciels de gestion des stocks permet de réduire les coûts d'inventaire et d'améliorer le service client.

### 4.2 OBSTACLES À L'ADOPTION

Malgré les avantages évidents de l'informatique, plusieurs obstacles freinent son adoption dans le secteur privé informel.

**Manque de formations adaptées:** La plupart des entrepreneurs n'ont pas accès à des formations qui leur permettraient de comprendre et d'utiliser efficacement les outils informatiques. Cela crée une lacune de compétences qui limite l'utilisation des technologies.

**Perception de coûts élevés:** Beaucoup d'entrepreneurs estiment que l'investissement initial nécessaire pour acquérir des ordinateurs et des logiciels est prohibitif. Cette perception est exacerbée par le manque de ressources financières dans le secteur informel, où chaque dépense est souvent scrutée de près.

**Résistance au changement:** La peur de l'inconnu et la résistance à l'adoption de nouvelles technologies sont des facteurs psychologiques qui jouent un rôle crucial. Certains entrepreneurs préfèrent s'en tenir à des méthodes traditionnelles qu'ils maîtrisent, plutôt que de risquer d'investir dans une technologie qu'ils ne comprennent pas.

### 4.3 RECOMMANDATIONS

Pour surmonter ces obstacles, il est essentiel de mettre en œuvre des stratégies ciblées:

- **Formations accessibles et personnalisées:** Des programmes de formation adaptés aux besoins des entrepreneurs peuvent être développés, intégrant des modules pratiques et interactifs. Ces formations devraient être offertes à faible coût ou gratuitement, idéalement dans des formats accessibles (en ligne, ateliers).
- **Sensibilisation aux avantages de l'informatique:** Il est crucial de créer des campagnes de sensibilisation qui démontrent de manière concrète les bénéfices de l'informatique. Des études de cas de succès locaux peuvent inspirer les entrepreneurs et leur montrer comment d'autres ont réussi à transformer leurs activités grâce à la technologie.
- **Accompagnement et mentorat:** Mettre en place des programmes de mentorat où des entrepreneurs ayant réussi à intégrer l'informatique dans leurs activités peuvent partager leur expérience et leurs conseils avec ceux qui hésitent encore.
- **Accès à des ressources financières:** Collaborer avec des institutions financières pour développer des solutions de financement spécifiques aux technologies numériques peut faciliter l'acquisition d'outils informatiques.

## 5 CONCLUSION

L'informatique représente un enjeu majeur pour les entreprises du secteur privé informel, offrant des opportunités significatives pour améliorer leur efficacité et leur compétitivité. L'adoption efficace de ces outils peut transformer non seulement les pratiques commerciales, mais aussi les dynamiques de marché en permettant aux entrepreneurs de mieux répondre aux besoins de leurs clients.

Pour que les entreprises du secteur privé informel puissent naviguer avec succès dans un environnement économique de plus en plus digitaliser, il est crucial d'agir maintenant. En investissant dans des solutions numériques et en développant une culture d'innovation, ces entreprises pourront non seulement survivre, mais aussi prospérer dans un marché en constante évolution.

L'avenir des affaires passe par l'informatique, et il est impératif que les acteurs du secteur privé informel prennent les devants pour embrasser cette réalité.

## REFERENCES

- [1] Dreyfus, P. (1985). *L'Informatique*. Paris: Editions d'organisation.
- [2] Dreyfus, P. (1993). *Le dictionnaire de l'informatique*. Paris: Editions d'organisation.
- [3] Pigeut, C. et Hügli, H. (2004). *Du zéro à l'ordinateur, une brève histoire du calcul*. Presses polytechniques et universitaires romandes; Lausanne.
- [4] Bukanga M. (2016) notes de cours inédit de Laboratoire Informatique I. Kinshasa: Université Révérend Kim.
- [5] Kapangala D. (2020), notes de cours inédit d'Informatique Générale. Kinshasa: Institut National de Préparation Professionnelle.
- [6] Giret, J-F C. (1995). *L'Informatique*. Paris: Editions Armand Colin.
- [7] Tshibaka, K. (2020). *Système d'exploitation: étude approfondie et comparative de théories de systèmes d'exploitation pour les praticiens et les nuls en administration systèmes*. Kinshasa: Edition CREDE n°009; N°DL: MI 3.02205-57269.
- [8] Mata, JE., et Mavudila, R. (2023). *Arrimage aux normes APA pour articles scientifiques de qualité*, Kinshasa: 1<sup>ère</sup> Editions Feu Torrent. ISBN: 978-23819-007-3-9.
- [9] Mata, JE., et Mavudila, R. (2024). *Arrimage aux normes APA pour articles scientifiques de qualité*, 2<sup>ème</sup> Edition Kinshasa: Editions Feu Torrent. ISBN: 978-99951-633-2-3.
- [10] Koné, S. et al. (2023). Analyse des motivations d'acceptation et freins des PME ivoiriennes à vivre les étapes de la transformation digitale, *Revue Internationale du chercheur* « Volume 5: Numéro 3 » pp: 459-486.
- [11] Boersma, K., et Kingma, S. (2005). Developing a cultural perspective on ERP. *Business Process Management Journal*, 11 (2), 123-136.
- [12] Verhoef, P. C. et al. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of business research*, 122, 889-901.

## Examining the environmental impact of mining activities using life cycle assessment (LCA): A case study of the Kiniero gold mine (Semafo) in Guinea

Bintou Konaté<sup>1,2</sup>, Adama Ouattara<sup>3</sup>, Narcisse Eboua Wandan<sup>1</sup>, Koimbla Francine Josée Kouacou<sup>3</sup>, and Koffi René Dongo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory Science, Society andamp; Environment, National Polytechnic Institute Houphouet-Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Laboratory of Applied Research in Geoscience andamp; Environment, Institute Superior of Mines and Geology of Boké, Guinea

<sup>3</sup>Laboratory for Industrial Processes, Environmental Synthesis and renewable Energies, National Polytechnic Institute, Houphouet-Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study examines the environmental impact of gold mining activities, particularly focusing on the Kiniero Gold Mine in Guinea. Utilizing Life Cycle Assessment (LCA) methodology, the study evaluates potential environmental impacts from exploration to post-mining phases. Seven impact categories are assessed using ReCiPe 2016 H, CML-IA, and IMPACT 2002 + methods via OpenLCA 1.11 2021 software. These categories include particulate matter formation, global warming, non-carcinogenic human toxicity, land use, aquatic eutrophication, metal resource depletion, and water consumption. Findings reveal that the exploitation phase has the most substantial environmental impact, notably through greenhouse gas emissions, primarily Carbon dioxide (90%), Methane (9%) and Nitrogen monoxide (1%) from diesel combustion. Metal emissions into water contribute significantly to non-carcinogenic human toxicity, while aquatic eutrophication is mainly attributed to nitrogenous nutrient emissions from gold ore processing (N: 76%,  $NH_4^+$ : 15%,  $NO_3^-$ : 6% and  $NH_3$ : 3%). Climate change emerges as the most significant impact, equivalent to the impact of three individuals annually compared to other impacts. To mitigate these effects, reducing GES emissions by replacing diesel with biodiesel in transportation and promoting renewable energy for electricity production is suggested. Applying LCA facilitates environmentally sustainable mining practices, preserving ecosystems, and mitigating climate change risks.

**KEYWORDS:** Openlca, Environmental Impact, LCA, Mining Activities, Semafo-Guinea.

### 1 INTRODUCTION

The mining industry contributes to the development of countries by creating jobs and reducing unemployment [1]. Guinea is one of Africa's leading gold-producing countries. However, gold mining is having a growing impact on the environment by altering ecosystem functioning, such as land and water degradation and biodiversity loss, leading to global warming. Global warming causes heat waves, drought, flooding and changes in the behavior of aquatic species. It is caused by the emission of greenhouse gases into the air, such as  $CO_2$ ,  $CH_4$ , etc.

The gold industry also consumes a great deal of water and chemicals during the processing of gold, and generates large quantities of waste. These wastes and chemicals, such as metal compounds (Hg, Pb, As and Cd), can end up in the environment. Metal pollution is a major concern for regions around the world seeking to preserve their environment [2].

This concern affects the sub-prefecture of Kiniéro, located 650 Km east of Conakry (Guinean ca-pitale), where numerous mining activities have been developed since 2002. These mining activities take the form of various gold panning sites and a gold mine called Semafo (Société d'Exploration Minière de l'Africaine de l'Ouest).

At Semafo-Guinée, the mine is open-pit, and the gold ore is processed using the carbon cyanidation process, also known as CIL (Carbon in-Leach). Hundreds and thousands of tonnes of rock are extracted to ensure planned production of 46 t of gold ore per hour. However, the environment is affected by every stage of ore extraction, physical and chemical processing. To assess the impact of pollutants at Semafo, several studies have been carried out, such as those by [3], [4], [5]. All these authors have applied the Environmental Impact Assessment (EIA) method. EIA is a commonly used method, as required by regulations. However, it does not impose any specific impact assessment method, and is limited to impacts generated within the perimeter studied, known as direct impacts or onsite impacts. It does not consider impacts linked to land use or energy consumption.

On the other hand, the current challenge is to reduce pollutant emissions. To meet this challenge, LCA is the ideal method, as it considers not only direct impacts, but also indirect or of-site impacts. In addition to the method required to assess environmental impacts, it enables the adoption of appropriate measures to reduce pollutant emissions. Given that LCA has never been applied in Guinea or at Semafo, we set ourselves the main objective of applying LCA as an alternative method for assessing the potential environmental impacts of the Kiniéro mine's life cycle.

LCA is both a decision-making tool and a powerful method for assessing the potential environmental impact of a product, product system or project during its life cycle, by quantifying all inputs such as material use and energy consumption from the technosphere, and all outputs such as pollutant emissions and waste production on the environment or ecosphere. A number of studies have been carried out on the life cycle assessment of mid-industry operations, including the results of a few such as [6], [7], [8], which obtained data on human toxicity, water use, aquatic eutrophication and so on. All these studies have proven the applicability of LCA methodology in the mining industry.

## **2 MATERIAL AND METHODS**

### **2.1 STUDY AREA**

The Kiniéro or Semafo gold mine is located in the Kiniéro sub-prefecture, five kilometers (5 km) north of Kiniéro-centre. The Kiniéro sub-prefecture is located in the southeast of the Kouroussa prefecture in the Kankan region of Upper Guinea in northeastern Guinea. It was operated by a Moroccan company called SEMAFO (Société d'Exploration Minière de l'Afrique de l'Ouest), from 2002 to 2014. The mine is located between 10°30' and 10°20' north latitude and 9°50' and 9°40' west longitude. It covers an area of 25 km<sup>2</sup>. This concession has been reallocated to the British company Sycamore mining, which has replaced it over an area of 450 km<sup>2</sup>. The minerals mined are oxides and sulfides [5].

The climate in the study area is sub-Saharan. It is characterized by abundant rainfall, with more than 1,600 mm<sup>3</sup> per year. August and September are the rainiest months. The maximum temperature is around 40°C and the minimum is around 15°C. The region experiences two types of air masses: monsoon and trade winds. The region has four types of vegetation: herbaceous, shrubby, arborescent and forest. The terrain is predominantly plateau, with the majority of the site and its surroundings at an altitude of 400-450 meters. The study area is characterized by two contrasting seasons: a dry season from November to May, and a rainy season from May to October. Nearly 50% of the population is involved in gold panning [5].

### **2.2 DATA COLLECTION MATERIAL**

The LCA is carried out in 4 stages: Definition of objectives and scope of study, Life Cycle Inventory, Impact assessment and Interpretation of results.

### **2.3 DEFINITION OF OBJECTIVES AND SCOPE OF STUDY**

Defining the objectives and scope of the study is an important step in LCA, as it defines the objectives of the study, the boundaries of the system under study and the functional unit (FU), the quantitative measure of the function under study, on the basis of which the impacts are calculated.

### **2.4 OBJECTIVES AND FUNCTIONAL UNIT DEFINITION**

#### **2.4.1 DEFINITION OF OBJECTIVES**

The aim of this study is to carry out the first LCA in Guinea to assess the potential environmental impacts of gold production at Semafo-Guinea during its life cycle, from the exploration phase to the post-mine phase.

## 2.4.2 FUNCTIONAL UNIT

The functional unit (FU) is the quantitative measure of the function under study. It is a reference that standardizes all the inputs and associated outputs of a system under study. In our study, the functional unit (FU) chosen is 46 tonnes of gold ore produced per hour. The system boundary covers the raw materials and energy involved in the gold ore extraction process, from leaching to the 46 t/h production rate (Figure 1).

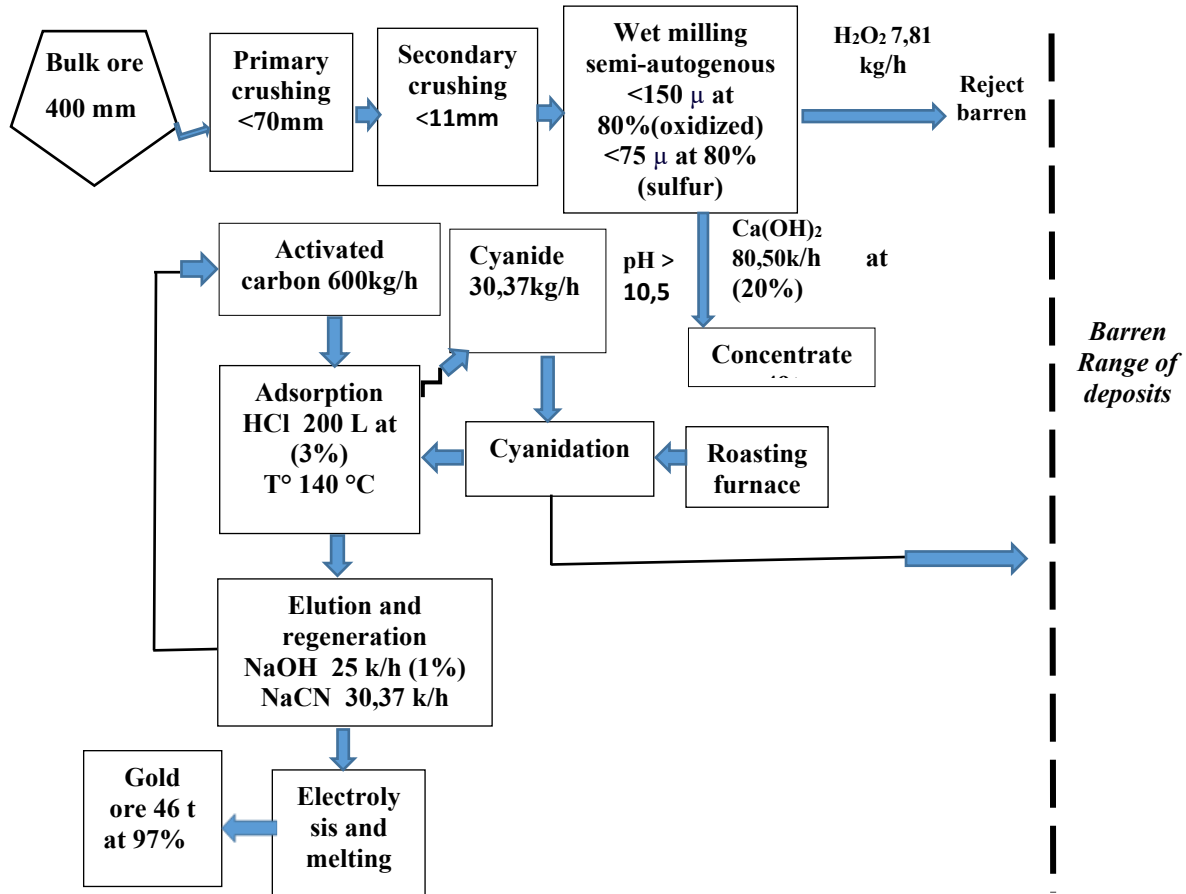


Fig. 1. System Boundary

## 2.4.3 LIFE CYCLE INVENTORY

The life-cycle inventory consists of collecting input and output data for modeling purposes. To carry out the mine life-cycle inventory, we conducted a month-long staff survey to obtain documentation on the mine. Inventory data were collected on the basis of primary and secondary data. The primary data came from the mine's environmental impact assessment reports. They include input data such as the mine plan, chemicals used in ore processing such as chlorhydric acid (HCl), cyanide (CN), lime (Ca (OH) <sub>2</sub>), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), soda ash (NaOH), ammonium nitrate (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), fuel (diesel), activated carbon, electricity, land area occupied, machinery, water used and ore extracted, come from the study by (Sycamore mining, 2020; Cissé, 2005). And output data such as substances emitted into water and air, like nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonium (NH<sub>4</sub>), etc., and greenhouse gases such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitric oxide (NO), methane (CH<sub>4</sub>) also come from the study by [5]. Missing secondary or information data come from the literature. They concern waste treatment data taken from work carried out by [6]. Construction data (materials, machinery, etc.) from work by [9]. The mine life cycle inventory data are presented in Table 1.

Table 1. Life Cycle Inventory of the Studied System (functional unit 46 t of ore produced)

Flux		Quantity	Unit
<b>Inputs</b>			
Calcium hydroxide		80.50	kg /h
Diesel		18 040	Kg
Electricity		2090	kWh
Excavator		8 360	Kg
Explosive		500	Kg
Hydrochloric acid		200	Kg/h
Peroxide		7.81	kg /h
Mining site occupation		160000	m <sup>2</sup>
Oxygen		0.3	Kg
Ore mined		49	T
Process water		2662000.0	Kg
Sodium cyanide		30.37	kg /h
Activated carbon		600	kg /h
Sodium hydroxide		25	kg /h
Temperature		140	°C
Ore transport		228.8	t*km
transport of barren		44.8	t*km
wastewater - untreated End-of-life treatment/Wastewater treatment		7.01	Kg
<b>Outputs</b>			
Arsenic	emission to groundwater	1.0E-9	kg
Cadmium	emission to groundwater	1.0E-9	kg
Calcium	emission to groundwater	5.2E-5	kg
Carbon dioxide	emission to air	42880.2	kg
Chloride	emission to groundwater	5.0E-5	kg
Chromium	emission to groundwater	1.0E-9	kg
Cyanide, sodium	emission to groundwater	1.0E-8	kg
Untreated wastewater	emission to river water	2.89 E-2	kg
Waste oil	emission to river water	1200	kg
Lead	emission to groundwater	1.0E-9	kg
Magnesium	emission to groundwater	2.5E-5	kg
Mercury	emission to groundwater	1.0E-9	kg
Nitrate	emission to groundwater	8.0E-7	kg
Nitrogen monoxide	emission to air	4.2	kg
Potassium	emission to groundwater	1.2E-5	kg
Sulphate	emission to groundwater	3.2E-5	kg
Sulphur dioxide	emission to air	2.37	kg
Arsenic	emission to river water	2.0E-8	kg
Cadmium	emission to river water	2.0E-9	kg
Calcium	emission to river water	1.6E-5	kg
Chloride	emission to river water	5.8E-5	kg
Chromium	emission to river water	5.0E-9	kg
Cyanide, sodium	emission to river water	5.0E-9	kg
Lead	emission to river water	2.0E-8	kg

<b>Magnesium</b>	emission to river water	1.5E-5	kg
<b>Mercury</b>	emission to river water	5.0E-9	kg
<b>Nitrate</b>	emission to river water	4.5E-6	kg
<b>Potassium</b>	emission to river water	4.15E-6	kg
<b>Sodium</b>	emission to river water	3.749E-5	kg
<b>Sulphate</b>	emission to river water	2.3E-5	kg

#### 2.4.4 LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT

Impact assessment consists of transforming all the data listed in the life cycle inventory into potential environmental impacts. This process is known as life cycle impact assessment. To assess the environmental impacts of the mine's life cycle, we inserted all the inventory data into OpenLCA 1.11 2021, then used the RéCiPe 2016 H method as the main assessment method, accompanied by the IM-PACT 2002+ and CML-IA methods to assess the mine's life cycle impacts. Finally, the results obtained were normalized. Normalization consists in assessing the relative contribution of the system studied to a particular impact. It is obtained by dividing the results for each impact category by the number of inhabitants in the study area (Formula 1).

$$Résultat\ Normalisé_{cat} = \frac{Résultat\ cat}{Nht} (1)$$

### 3 RESULTS

#### 3.1 ANALYSIS OF CONTRIBUTIONS FROM VARIOUS PHASES TO IMPACT CATEGORIES IDENTIFIED AT THE MIDPOINT LEVEL

The figure 2 presents the outcomes detailing the overall impact contribution of each phase of the mine on the determined impact categories at the midpoint level. It highlights that the operational phase predominantly influences Semafo's gold production's total environmental impact. Specifically, concerning fine particulate formation, operations contribute 69%, development 20%, exploration 7%, and post-mining 4%. In terms of climate change, operations contribute 89%, development 6%, exploration 3%, and post-mining 2%. Additionally, for carcinogenic human toxicity, aquatic eutrophication, and depletion of metal resources, operations contribute 100% to these categories, while the other phases contribute 0%. Operations also contribute 30% to land use compared to 66% for development, 4% for exploration, and 0% for post-mining. In the case of water usage, operations contribute 75%, whereas development contributes 23%, exploration 2%, and post-mining 0%.

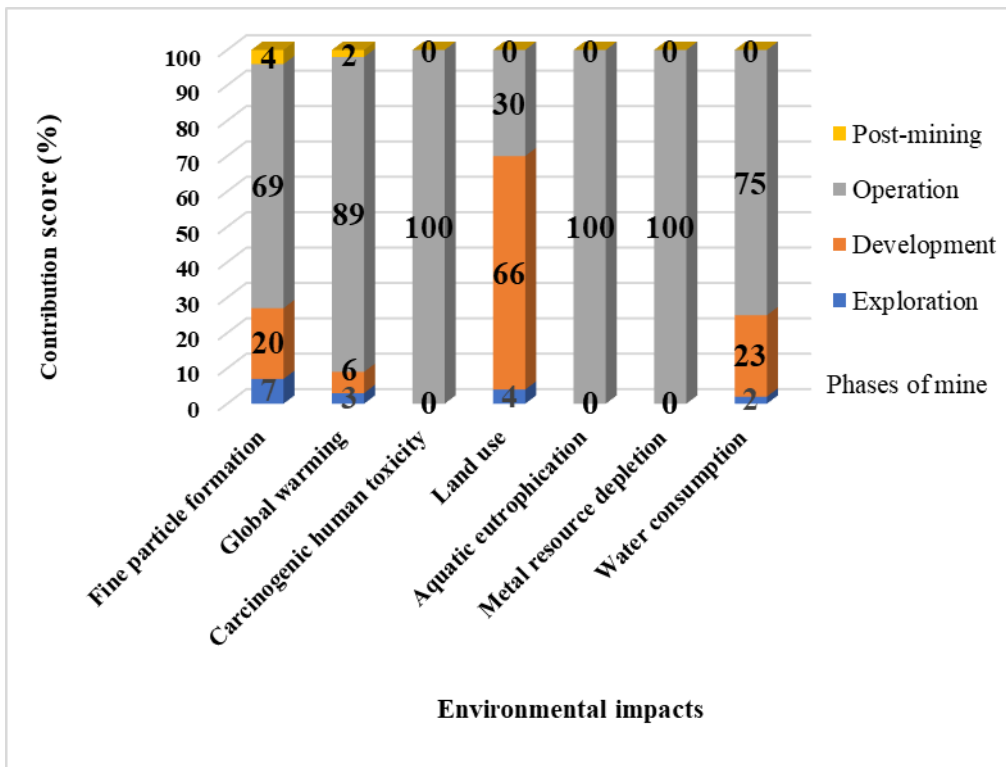


Fig. 2. All phases of mining contribution to impact category determination

### 3.2 ANALYSIS OF KEY SUBSTANCES CONTRIBUTIONS

Figure 3 illustrates the main substances responsible for intermediate impacts, including 66% of sulfur dioxide, 23% of nitrogen dioxide and 11% of particulate matter from diesel combustion during mining operations. Global warming is caused by 90% of the carbon dioxide, 9% of the methane and 1% of the nitrogen from diesel combustion in transport and power generation. As for the mercury released during gold processing and mining, it contributes 100% to human health. The 76% nitrogen, 15% ammonium, 6% nitrate and 3% ammoniac discharged into water contribute to aquatic eutrophication generated by the use of ammonium nitrate in gold ore extraction. Gold ore mined at 100% contributes to the depletion of metal resources. Water consumption at 75% contributes to water use.

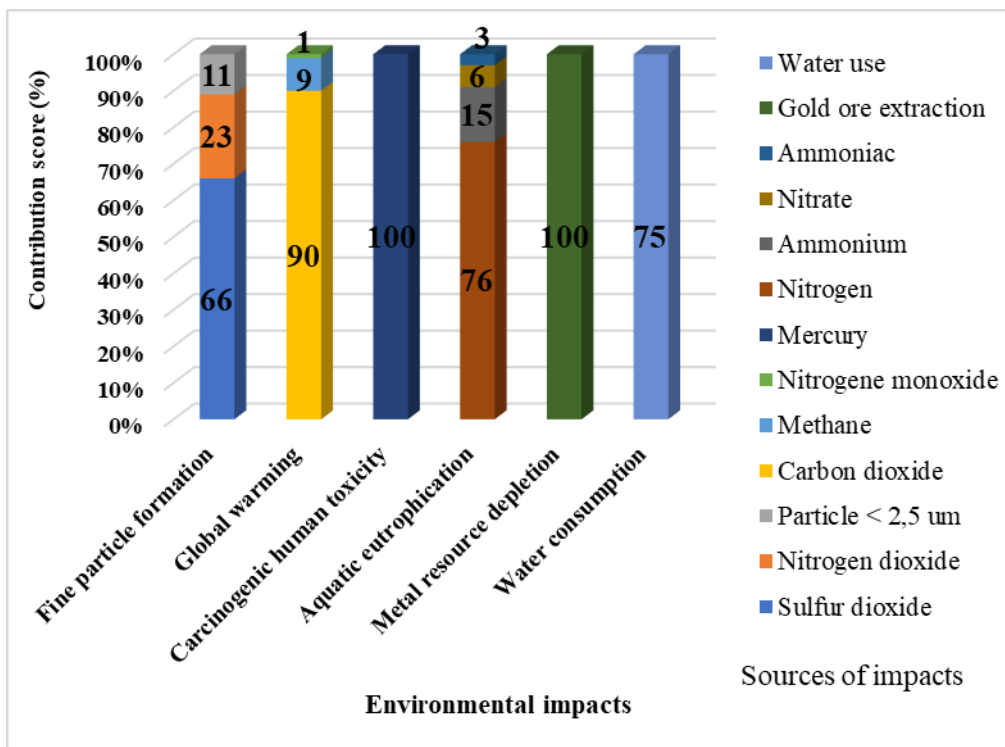


Fig. 3. key substances contribution to determined intermediate impact categories

### 3.3 SENSIBILITY ANALYSIS

Figure 4 shows the results of sensibility analysis, comparing the IMPACT 2002+ and CML-IA methods with the ReCiPe results. The comparison focuses on climate change, carcinogenic human toxicity and aquatic eutrophication, each of which has significant values. The results show that the operating phase has a significant impact on Global warming, with respective values of 89% according to ReCiPe, 86% according to IMPACT 2002+ and 86% according to CML-IA. carcinogenic human toxicity at 100% according to ReCiPe, 96% according to IMPACT 2002+ and 94% according to CML-IA.

For aquatic eutrophication, according to ReCiPe 100%, IMPACT 2002+ 97% and CML-IA 96%. The results vary slightly due to the impact characterization model used for each method and the substances taken into account. The ReCiPe 2016 midpoint H method covers 18 impact categories, while IMPACT 2002+ and CML-IA cover 15 and 11 respectively. However, these variations do not affect the reliability of the ReCiPe 2016 method.

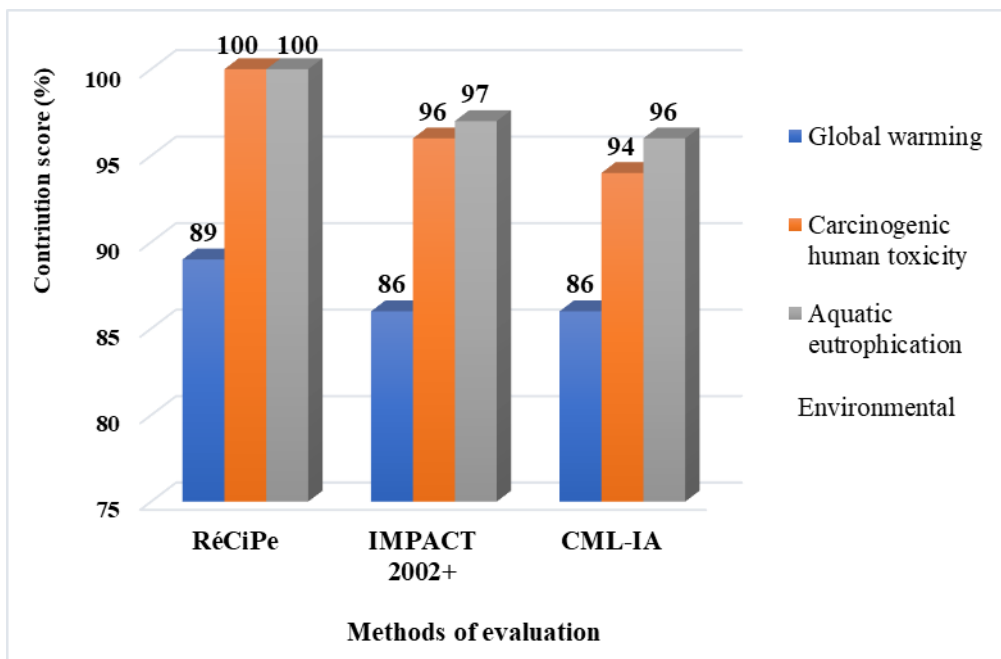


Fig. 4. RéCiPe 2016 H, IMPACT 2002+, and CML-IA Methods comparison

### 3.4 GLOBAL WARMING

Emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide are the main contributors to global warming. According to RéCiPe, carbon dioxide contributes 90%, methane 9% and nitrous oxide 1%. IMPACT 2002+ puts carbon dioxide at 91%, methane at 7% and nitrous oxide at 2%. As for CML-IA, carbon dioxide 89%, methane 6% and nitric oxide 5% (Figure 5).

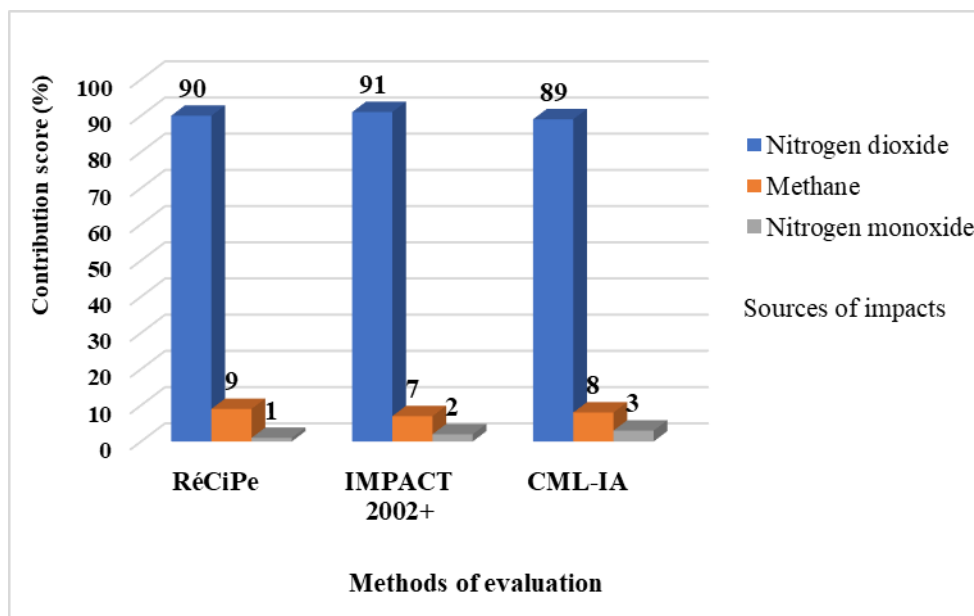


Fig. 5. Contribution of key substances to Global warming across three methods (RéCiPe, IMPACT 2002+, CML-IA)

### 3.5 CARCINOGENIC HUMAN TOXICITY

Mercury emissions to surface waters remain the main contributor to carcinogenic human toxicity according to the three ReCiPe, IMPACT 2002+ and CML-IA methods. With respective contributions of 100%, 70% and 50% (Figure 6). The presence of mercury in the Tabako and Farabalan rivers is linked to its use by gold miners (Figure 7 a and b).

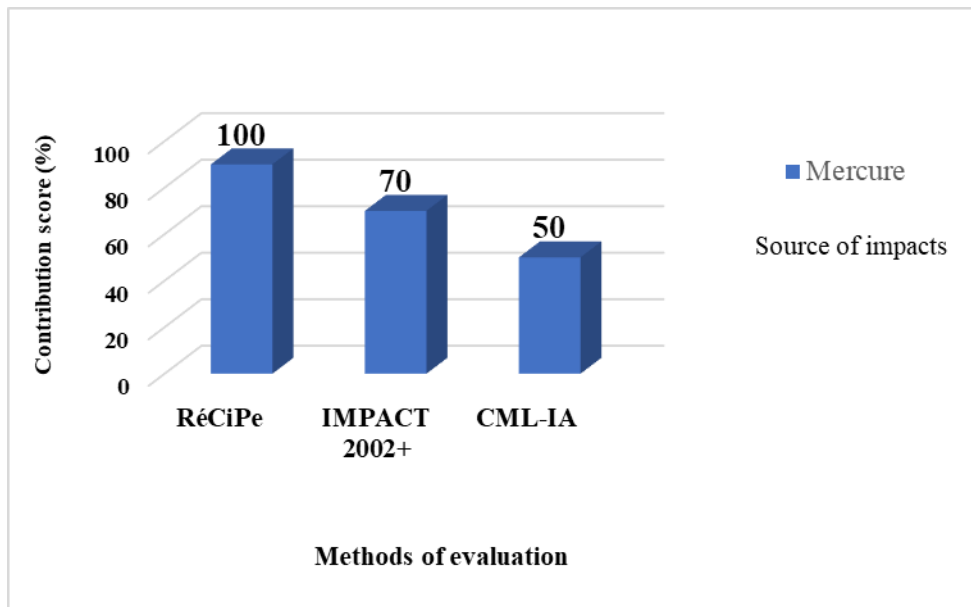


Fig. 6. Key Substances contribution to Carcinogenic human toxicity across three methods (ReCiPe, IMPACT 2002+, CML-IA)



Fig. 7. a- Crushing plant 4 m upstream from Tabako; b- Washing plant in the Farabalan bed upstream

### 3.6 AQUATIC EUTROPHICATION

The main cause of aquatic eutrophication is the discharge of nitrogen, ammonium, nitrate, ammonia and nitrogen dioxide into water. According to ReCiPe, nitrogen is the main contributor, followed by ammonium, nitrate and ammoniac, with contributions of 76%, 15%, 6% and 3% respectively. According to IMPACT 2002+, nitrogen dioxide is the main contributor,

followed by nitrogen, nitrate and ammonium, with respective contributions of 87%, 8%, 3% and 2%. As for CML-IA, nitrogen dioxide remains the main contributor, followed by nitrogen and ammonium, with contributions of 62%, 30% and 8% respectively (Figure 8). The use of ammonium nitrate for gold ore extraction would contaminate extraction pits, which would be drained by runoff into rivers via precipitation (Figure 9)

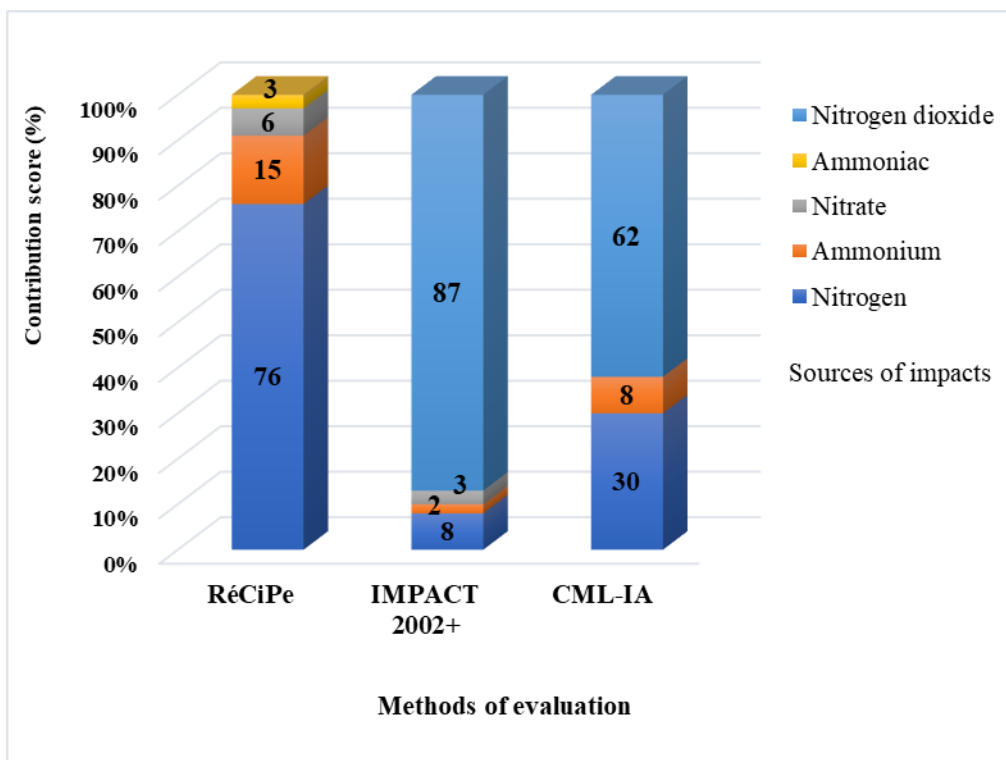


Fig. 8. Key substances contribution to Aquatic eutrophication by three methods (ReCiPe, IMPACT 2002+, CML-IA)



Fig. 9. Photo of the extraction pits (1- pit A; 2 -pit B)

### 3.7 STANDARDIZATION RESULTS

The results of the normalization, presented in figure 10, show that the formation of fine particles has a score equivalent to the impact of one person per year. Global warming three people per year, carcinogenic human toxicity two people per year, aquatic eutrophication two people per year. Metallic resource depletion scores two people per year, while water use scores the impact of one person per year. This shows just how much greater the impact of global warming is than that of the other impact categories. In this case, as it is a global impact, it also has the highest score. It is therefore crucial to determine an appropriate measure to mitigate the effects of this impact on the population.

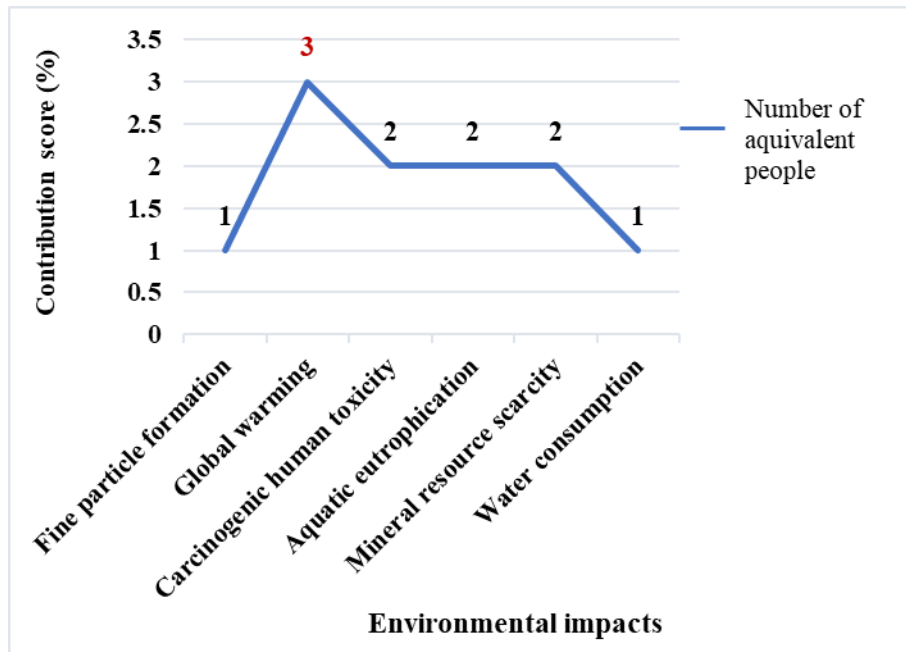


Fig. 10. Normalization Results

## 4 DISCUSSION

### 4.1 COMPARISON OF RESULTS FROM THIS STUDY WITH PREVIOUS STUDIES

According to the life cycle assessment (LCA) results of this study, the operational phase is the main contributor to the overall environmental impact of Semafo's gold production. This finding confirms the results of previous studies [10], [11], [12], [13], [14], which also identified the operational phase as the main contributor to overall environmental impact.

Furthermore, the impact categories identified, such as fine particle formation, climate change, non-carcinogenic human toxicity, aquatic eutrophication and metal resource depletion, align with those identified in studies by [7], [11]. Emissions of carbon dioxide, methane and nitric oxide into the air are the main contributors to climate change caused by diesel combustion in mining trucks and power generation during the ore extraction and processing process. This result is consistent with previous studies [7], [12], [15], [13], [16].

The release of mercury into water due to the use of chemicals during ore extraction and processing, as well as mining waste, are responsible for the impact on non-carcinogenic human toxicity. This result is comparable to the findings [17], [12], [13]. Gold mining is the main factor contributing to the impact of metal resource depletion, which is consistent with research [6], [12], [13].

The main factor contributing to water use is the large amount of water consumed in processing gold ore. The release of nitrogen, ammonium and nitrate into water is the main contributor to aquatic eutrophication generated by the gold mining process, a finding that corroborates that of [6]. Most LCA studies have assessed impacts at the midpoint due to low parameter uncertainty. Furthermore, the results obtained by this study are superior to those of [13].

#### **4.2 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) LIMITATIONS**

Researchers have embarked on a series of studies on Life Cycle Assessment (LCA) in the gold mining industry to assess the environmental impacts stemming from gold production, adopting approaches ranging from cradle to gate, gate to grave, or cradle to grave. Each of these studies has demonstrated the relevance of LCA methodology within the context of the gold mining industry. Positive outcomes have been achieved, thereby guiding decisions on environmental improvement by identifying the most effective production technologies as well as strengths and weaknesses [14], [18], [19], [20].

Furthermore, only the study conducted in Côte d'Ivoire by [13] accounted for the entire life cycle, from exploration to post-mining. Each author evaluated impacts using ideal LCA methods such as ReCiPe 2016, 2013, 2009; ILCD; DEC; impact 2002+; EM-LCA; CML, etc., through various software platforms like Simapro; GaBi; GaBi combined with HSC Sim software; Arc GIS; OpenLCA, etc. However, all of these research endeavors highlighted the lack of necessary data to establish a comprehensive life cycle inventory (LCI).

The primary concern in conducting Life Cycle Assessment lies in the limited availability of data. [21] explained that LCA methodology faces three major issues: lack of data, allocation, and waste management. High-quality data required for this work are often proprietary to companies, limiting their accessibility in the public domain. The inability to adequately address site-specific impacts hampers the ability to capture the true spatial and temporal dimension of Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results when generic data are used [20].

The limitations of LCA also explain the scarcity of free software containing comprehensive life cycle inventory (LCI) databases. Life cycle inventory datasets available in databases such as ELCD Bottles and Agribalyse, integrated into OpenLCA software, are sometimes insufficient. Many LCI datasets are available in Ecoinvent licensed databases, utilized by commercial software like Simapro and GaBi [22].

In our study, most of the data used originate from previous Environmental Impact Assessment (EIA) reports conducted in the study area before and during mine operation. Despite our efforts, gaps persist, particularly regarding construction-related data (materials, equipment, etc.), which were available in [13] work conducted in Côte d'Ivoire. Since [13] research focused on a gold mine in Côte d'Ivoire, located in West Africa, and considering the similarities among gold mines in Africa, we incorporated this data in developing a life cycle inventory tailored to our own gold mine.

#### **5 CONCLUSION**

The first LCA carried out in Guinea at the Kiniero gold mine (Semafo-Guinea) enabled us to identify seven categories of environmental impact, namely global warming, fine particle formation, aquatic eutrophication, non-carcinogenic human toxicity, land use, metal resource depletion and water use. The operating phase is the main contributor to the overall environmental impact of gold production at Semafo. The significant potential environmental impacts associated with this phase are: fine particle formation, global warming, non-carcinogenic human toxicity, aquatic eutrophication, depletion of metal resources and water use. The use of fossil fuels (diesel) in transport and power generation is the main source of global warming. The main pollutants emitted into the environment are carbon dioxide, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, particulate matter, methane, nitrogen, ammonium, nitrate and mercury. Replacing diesel fuel with renewable energy such as biodiesel in transport trucks. Wind power, photovoltaic solar energy and biomass for electricity generation could reduce or limit greenhouse gas emissions.

#### **COMPETING INTERESTS**

Authors have no conflicts of interest

#### **AUTHORS' CONTRIBUTIONS**

In the course of this study, BK developed the research protocol, collected information in the field, analyzed the data and drafted the manuscript. The manuscript was refined and translated by AO. KFJK and KRD contributed to data collection. WEN took the lead on this task and gave recommendations for carrying out the various activities and perfecting the manuscript until it was validated.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Ministry of Higher Education, Scientific Research and Innovation of Guinea for funding this research. We would also like to thank the African Center of Excellence Mining and Mining Environment of Côte d'Ivoire and the Center Emerging Mine and Company of Guinea for financial support.

## REFERENCES

- [1] Ferrand, Villeneuve, 2013. industrie minière et le developpement durable. <https://voute.bape.gouv.qc.ca.74>.
- [2] Y. Yapi, B. Dongui, A. Trokourey, Y. Barima, Y. Essis, et P. Etheba, « Evaluation de la pollution métallique des eaux souterraines et de surface dans un environnement minier aurifère à Hiré (Côte d'Ivoire) », *Int. J. Bio. Chem. Sci*, vol. 8, n° 3, Art. n° 3, oct. 2014, doi: 10.4314/ijbcs.v8i3.41.
- [3] S. SOW, « Exploration minière et développement durable en Guinée: impacts du cadre réglementaire », 2013, [En ligne]. Disponible sur: <https://catalog.ihsn.org>.
- [4] Semafo, « Plan De Gestion Environnemental Et Social », Guinee, 2009.
- [5] I. Cissé, « Etude d'impact environnemental des travaux d'exploitation minière de Kiniéro«Semafo Guinee», Mémoire de fin d'étude supérieure. Ibrahima Cisse », Guinee, 2005.
- [6] W. Chen et al., « Water footprint assessment of gold refining: Case study based on life cycle assessment », *Ecological Indicators*, vol. 122, p. e1, mars 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107319.
- [7] S. H. Farjana, N. Huda, et M. A. P. Mahmud, « Life cycle analysis of copper-gold-lead-silver-zinc beneficiation process », *Science of The Total Environment*, vol. 659, p. 41-52, avr. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.318.
- [8] K. S. A. Yao et K. E. AHOUSSE, « Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines dans un environnement minier du Centre - Ouest de la Côte d'Ivoire : cas du Département de Divo », p. 16, 2021.
- [9] K. Yao, « Développement d'une méthodologie pour une meilleure évaluation des impacts environnementaux de l'industrie extractive », 2018.
- [10] K. Islam, X. Vilaysouk, et S. Murakami, « Integrating remote sensing and life cycle assessment to quantify the environmental impacts of copper-silver-gold mining: A case study from Laos », *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 154, p. 104630, mars 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104630.
- [11] R. Pell et al., « Environmental optimisation of mine scheduling through life cycle assessment integration », *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 142, p. 267-276, mars 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.11.022.
- [12] W. Chen et al., « Life cycle assessment of gold production in China », *Journal of Cleaner Production*, vol. 179, p. 143-150, avr. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.114.
- [13] K. A. F. Yao, « Développement d'une méthodologie pour une meilleure évaluation des impacts environnementaux de l'industrie extractive », phdthesis, Université Montpellier ; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2018. Consulté le: 14 décembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science> 2018.
- [14] T. Norgate et N. Haque, « Using life cycle assessment to evaluate some environmental impacts of gold production », *Journal of Cleaner Production*, vol. 29-30, p. 53-63, juill. 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.01.042.
- [15] John Francis Agwa-Ejon et Anup Pradhanb, « Life cycle impact assessment of artisanal sandstone mining on the environment and health of mine workers », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 72, p. 71-78, sept. 2018, doi: 10.1016/j.eiar.2018.05.005.
- [16] X. Song, J. B. Pettersen, K. B. Pedersen, et S. Røberg, « Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copper ore mine: A case study in Northern Norway », *Journal of Cleaner Production*, vol. 164, p. 892-904, oct. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.021.
- [17] B. Konate, N. E. Wandan, R. Dongo, M. Kourouma, et S. Alassane, « Post-Mining Impact Assessment of the Kiniéro Gold Mine (Semafo) on Groundwater and Surface Water in Guinea », vol. 24, n° 1, p. 82, mars 2023.
- [18] N. Haque et T. Norgate, « The greenhouse gas footprint of in-situ leaching of uranium, gold and copper in Australia », *Journal of Cleaner Production*, vol. 84, p. 382-390, déc. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.09.033.
- [19] C. Reid, P. Lesage, M. Margni, M. Aubertin, V. Bécaert, et L. Deschênes, « Utilisation de l'ACV par l'industrie minière : Exemple d'application et principaux défis », *Environnement, Ingénierie & Développement*, vol. N°54-Avril-Mai-Juin 2009, p. 10-18, janv. 2009, doi: 10.4267/dechets-sciences-techniques.1228.
- [20] S. Durucan, A. Korre, et G. Munoz-Melendez, « Mining life cycle modelling: a cradle-to-gate approach to environmental management in the minerals industry », *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, n° 12, Art. n° 12, janv. 2006, doi: 10.1016/j.jclepro.2004.12.021.

- [21] G. Bailey et al., « Review and new life cycle assessment for rare earth production from bastnäsite, ion adsorption clays and lateritic monazite», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 155, p. 104675, avr. 2020.  
doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104675.
- [22] J. Segura-Salazar, F. M. Lima, et L. M. Tavares, « Life Cycle Assessment in the minerals industry: Current practice, harmonization efforts, and potential improvement through the integration with process simulation», *Journal of cleaner production*, vol. 232, p. 174-192, 2019.

## Petroleum system characterization of the northeastern edge of the Termit Basin, eastern Niger: The case of the Boul prospect

*Boubé Hamani, Moussa Konaté, and Ismaila Mahamidou Alfazazi*

Department of Geology, Faculty of Science and Technology, Abdou Moumouni University, Niamey, Niger

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Since the discovery of the first oil showings in the Tamesna sub-basin (north-western Niger) in the 1960s, several oil exploration campaigns have been undertaken in the other Niger basins. These are Eastern Niger and Djado basins. From 2008 onwards, continued oil exploration led to the development of the Goumeri, Sokor and Agadi fields. Thanks to new economically profitable discoveries, Niger has been exporting crude oil since 2024. However, challenges remain, requiring in-depth geological and geophysical studies to increase reserves. Indeed, the Boul-1D well, drilled in 2016 in the Boul prospect on the Bilma block, revealed no hydrocarbons despite promising indications observed during drilling. This lack of productivity is all the more surprising given that the area was covered by a 3D seismic survey and lies in close proximity to the productive Gabobl-1D well. To better understand the reasons for the non-productivity, investigations were carried out to determine the characteristics of the petroleum system at the northeastern end of the Termit Basin, focusing on the Boul prospect, and using seismic and logging data in particular.

Three software packages were used to carry out these investigations. GeoEast was used to analyze seismic data, Techlog to study logging data and Petrel to correlate well data. To deepen the investigations, sample analyses (cuttings and cores) and pressure tests (RFT) were carried out to better identify reservoir levels. An in-depth analysis was then carried out to understand the reasons for the non-productivity of the Boul-1D well, and to determine the key factors for successful drilling in the study area. This study shows that lateral sealing is the main cause of drilling failure in exploration activities in the northeastern part of the Termit Basin. This lateral sealing is the first important factor to which more attention needs to be paid. The phenomenon of hydrocarbon dissipation in the Madama formation is the second factor to be closely monitored when evaluating prospects in this area.

**KEYWORDS:** Termit basin, Boul prospect, Boul well, non-productivity, lateral sealing, hydrocarbon dissipation.

### 1 INTRODUCTION

Oil exploration in Niger in the 1960s led to the discovery of the first oil shows in the Tamesna sub-basin (northwestern Niger) (Ministry of Petroleum, Niger). Since then, several oil exploration campaigns have been systematically undertaken in Niger's lullemeden, Eastern Niger and Djado basins. Exploration activities include: airborne geophysical surveys (gravimetry and magnetism), seismic reflection, ground geophysical surveys and exploration drilling.

From 2008 onwards, the signing of the production sharing contract with new partner CNPC-NP enabled exploration activities to be stepped up. This led to the development of 3 deposits under the Agadem Phase I contract: Goumeri, Sokor and Agadi. The start-up of these 3 fields in 2011 enabled Niger to join the club of countries not only producing, but also refining oil in Zinder region, with a capacity of 20,000 barrels/day).

Following these initial encouraging results (Agadem phase I), numerous projects undertaken by the operator CNPC-NP led to the discovery of new oil and gas deposits (Gololo, Dougoule, Faringa, Koulélé, Dibeilla, Fana, Tiori, Arianga, etc.), which are technically and economically profitable to exploit. This led to the signing of a second operating contract (Agadem Phase II) in 2018. Since then, Niger has achieved self-sufficiency in refined products, in partnership with China, and began exporting crude oil internationally in 2024, via the Niger-Benin pipeline to the Semé-Kpodji oil terminal.

Despite the above-mentioned discoveries, many challenges remain, particularly with regard to increasing and developing reserves. To meet these challenges, more in-depth geological studies and consequent geophysical research must be undertaken. This will enable to better select the target areas for drilling, so as to remove any ambiguity between areas with high hydrocarbon potential and those without.

For example, a total absence of hydrocarbons has been observed in some well production tests. This is the case of the Boul 1D well, which was drilled in 2016, in the Boul prospect. It is located between the Gabobl-1D well to the east and the Madama E-1D well to the west (Figs. 1 and 2). The Boul prospect, belonging to the Bilma block, is located in the western part of the Araga graben (Fig. 2) and to the northeast of the Gabobl-1D structure. This prospect is covered by the Gabobl-Boul 3D seismic survey.

The non-productivity of the Boul-1D well appears surprising, given the numerous hydrocarbon showings highlighted by the logging data (instantaneous and delayed).

In order to better understand the petroleum system of the Boul-1D well, investigations were carried out in the Boul prospect, where the dry drilling of the Boul-1D well was recorded. With this in mind, this contribution focuses investigations on the theme **“Characterization of the petroleum system of the northeastern end of the Termit Basin: case of the Boul prospect (Termit Basin, eastern Niger)”**.

The main objective of this contribution is to analyze the factors responsible for the non-productivity of the Boul-1D well.

Specifically, it aims to:

- Describe the geological and geophysical characteristics of the Boul prospect;
- Identify factors favoring well productivity, as well as their non-productivity in the study area;
- Determine parameters contributing to drilling success.

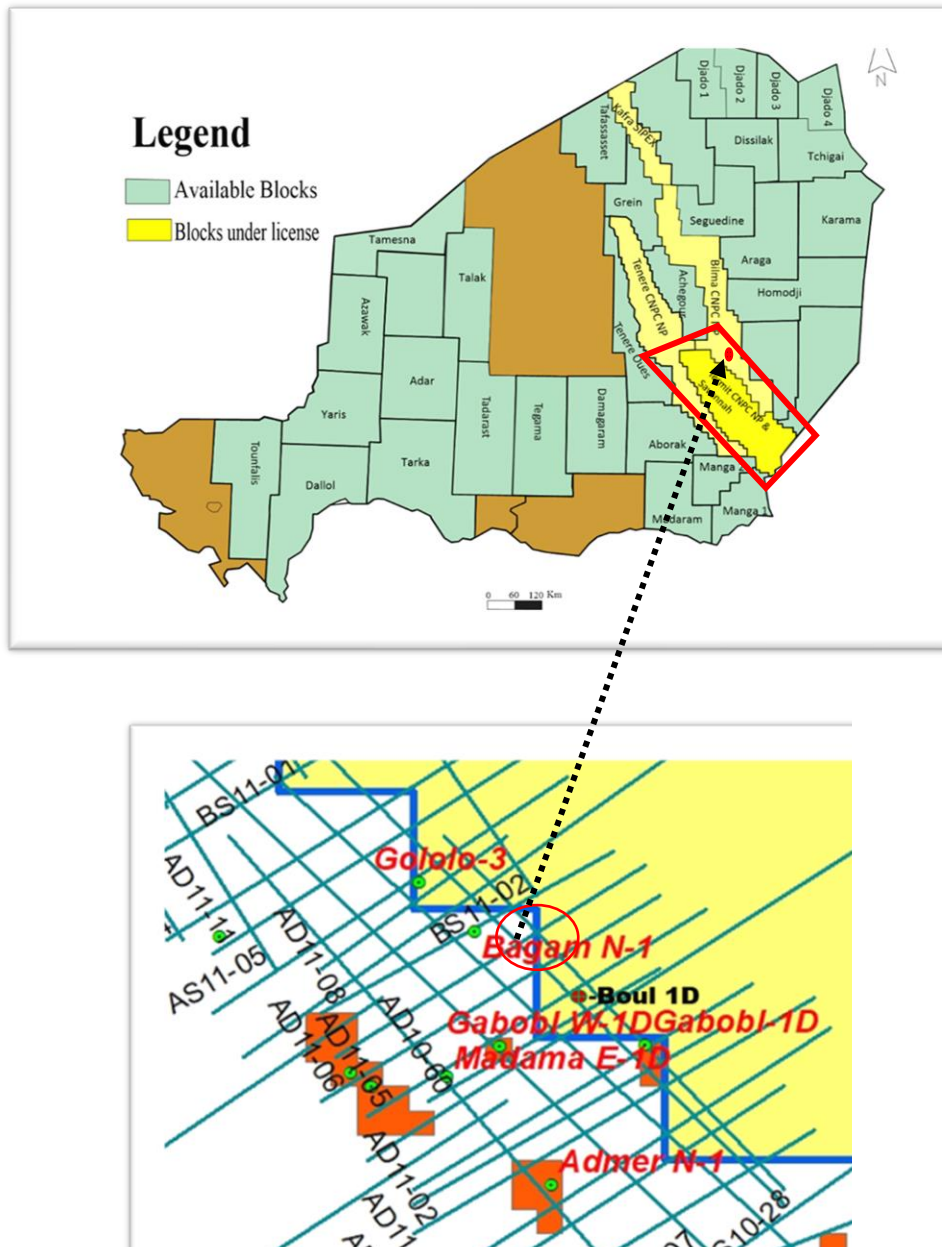


Fig. 1. Location of the Boul prospect in the Bilma Block. The red box indicates the location of the Termit Basin (Ministry of Petroleum, Niger, 2017)

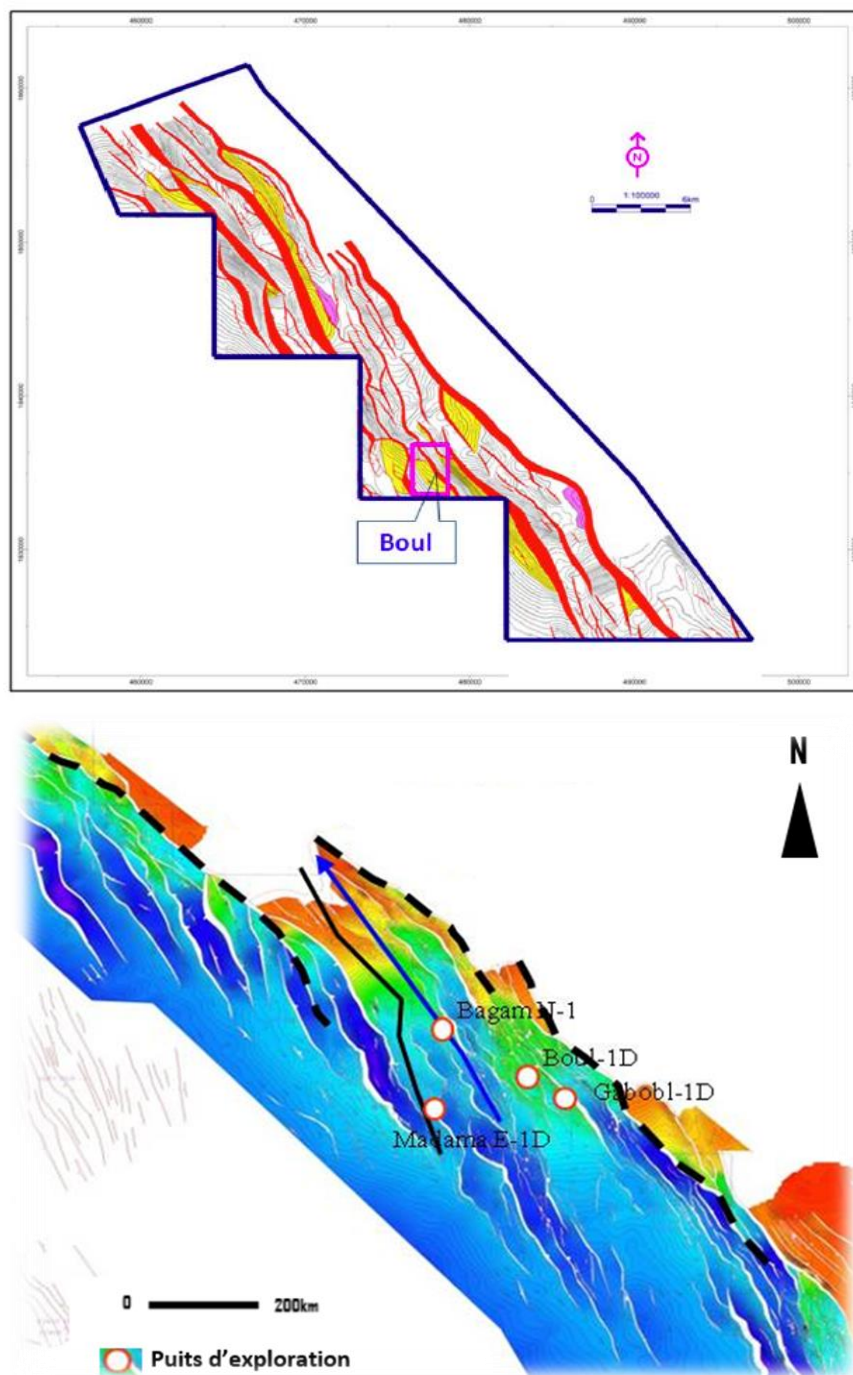


Fig. 2. Location of well Boul-1D

## 2 GEOLOGICAL CONTEXT OF THE STUDY AREA

Located in eastern Niger, the NW-SE trending Termit basin is part of a set of Cretaceous troughs belonging to the Ténéré graben mega system, extending from southern Algeria towards Lake Chad, over a distance of about 1200 km [1]. The Termit basin is rift-type basin developed on Jurassic bedrock [2], [3]. To the north, it is intersected by the Agadez lineament and is continuous with the Tefidet and Ténéré grabens (Fig.3) [4], [5]. To the south, the Termit basin adjoins the Bornou basin in Nigeria at the northern end of the Bénoué trough. It extends from north to south over a length of around 300 km and a width of 60 km, from east to west. Its surface area is around 30,000 km<sup>2</sup> [6], [7], [8], [9].

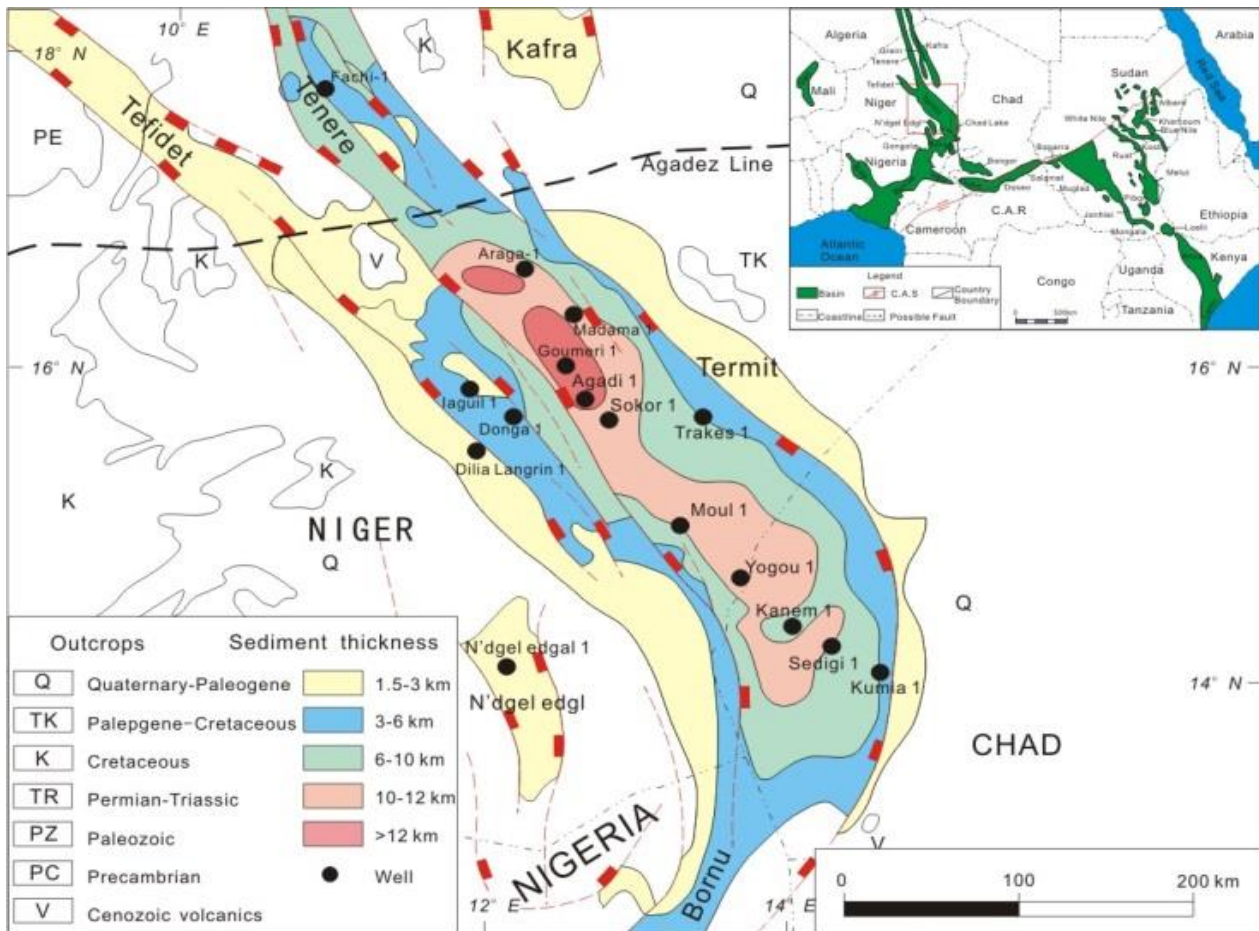


Fig. 3. Synthetic geological map of the Termit Basin (after Maurin and Guiraud, 1993)

## 2.1 PRE-RIFT PERIOD

The pre-rift period extends from the end of the Pan-African orogeny (around 550 Ma) to the Jurassic (around 145 Ma) [10], [11]. This period comprises two episodes: (i) an initial episode of Pan-African crustal assembly, and (ii) a second, relatively stable episode extending from the Cambrian to the Jurassic [10], [11].

## 2.2 TERMIT BASIN STRUCTURING PERIOD

The Termit basin was structured in 4 main periods: Lower Cretaceous, Upper Cretaceous, Paleogene and Neogene.

### 2.2.1 LOWER CRETACEOUS PERIOD

During the Lower Cretaceous, the Termit Basin was formed concomitantly to the fragmentation of Gondwana and the opening of the South Atlantic [10], [11]. All authors agree that the Termit Basin was affected by a rifting phase during which fluvial to fluvio-lacustrine deposits were emplaced. This is the rifting phase 1 of Yuan et al. (2023) corresponding to the rifting phase of Wan et al. (2014) [12].

### 2.2.2 UPPER CRETACEOUS PERIOD

For Wan et al. (2014), this would be a period of subsidence (or downwarping) due to overload subsidence? Whereas Yuan et al. (2023) assume that there is a rifting phase, followed by a post-rift 1 phase. Sedimentation is essentially represented by marine deposits relayed vertically by fluvial (Yuan et al., 2023) to fluvio-deltaic (Wan et al., 2014) deposits.

2.2.3 PALEOGENE PERIOD

During this period, there was a rifting phase followed by downwarping (as defined by Wan et al. (2014)). During this Paleogene period, the basic fluvio-deltaic deposits (Sokor 1) are vertically relayed by lacustrine sediments (Sokor 2).

Yuan et al (2023) propose a different interpretation: throughout the Paleogene, there was a rifting phase (“rifting phase II”) during which the fluvio-lacustrine deposits of Sokor 1 and then Sokor 2 were emplaced (Fig. 4).

2.2.4 NEOGENE PERIOD

Wan et al. (2014) and Yuan et al. (2023) agree that the Neogene is a post-rift period during which the fluvio-lacustrine sediments were deposited. This post-rift period corresponds to the basin infilling episode (Fig. 4).

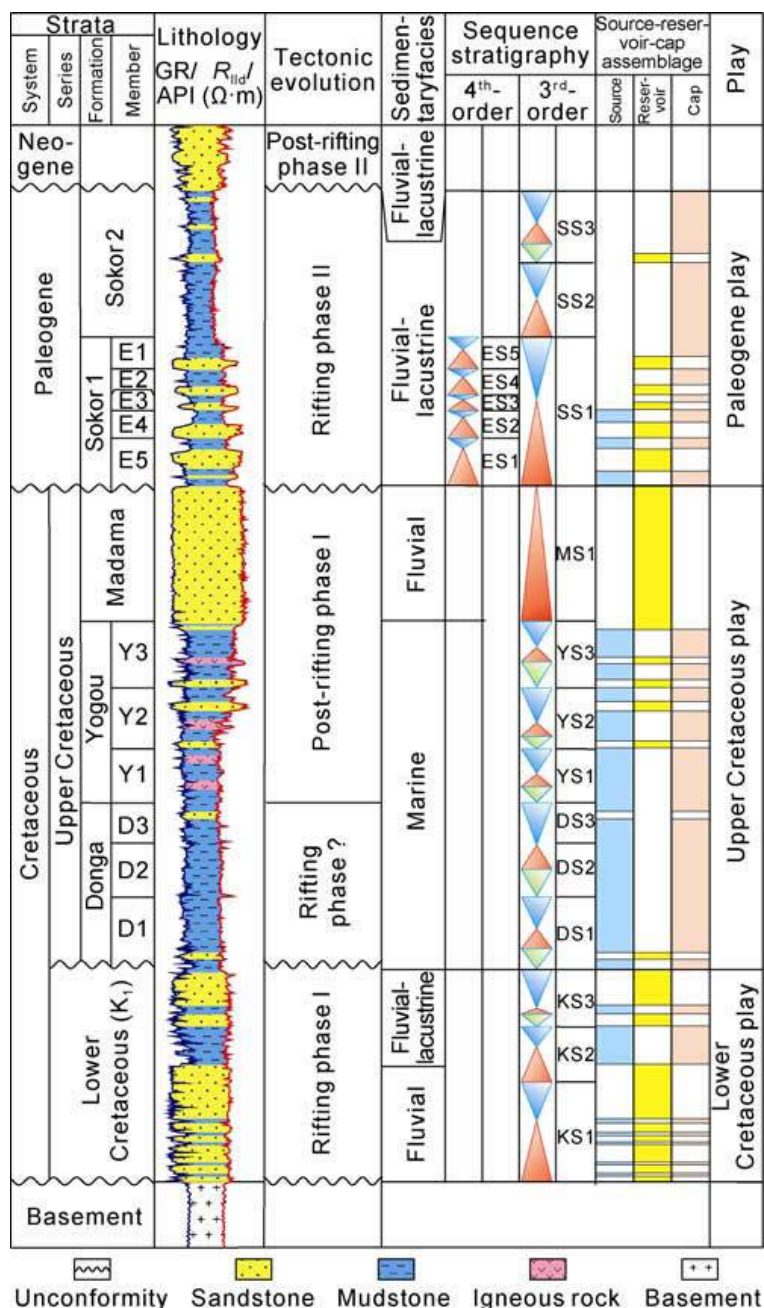


Fig. 4. Lithostratigraphic column of the Termit basin (Yuan et al., 2023)

### 3 MATERIAL AND METHOD

In addition to the literature review, seismic and logging data, sampling data (cuttings and core samples) and appropriate software were used to characterize the Boul prospect’s petroleum system. Thus: (i) GeoEast software was used to analyze and reinterpret the seismic data, (ii) the Techlog program, to analyze and reinterpret the log data (instantaneous and delayed) and, (iii) Petrel software, to correlate the well data.

To determine reservoir levels, drilling data (cuttings and core) and pressure data (RFT-Repeat Formation Testing) were analyzed. To determine the reasons for the non-productivity of the Boul-1D well, a detailed analysis of the results was carried out. Investigations then focused on the parameters to be taken into account for successful drilling in the study area.

### 4 RESULTS AND DISCUSSION

#### 4.1 SOURCE ROCK

The Boul prospect lies to the West of the Araga Graben, not far from the Dibeilla-1 zone, belonging to the same tectonic unit (Araga Graben), adjacent to the Dinga Depression.

Modelling of the hydrocarbon genesis process shows that the depth of the oil window for the source rocks of the Yogou formation lies between 2,800 and 4,500 m. At present, most of these zones have reached maturity, and the Dinga graben has entered the gas generation phase. During the rifting phase of the Paleogene, the source rocks of the Yogou Formation had matured over a wide area, which is in good agreement with the existence of traps (notably faults), the presence of regional caprock (Figs. 5 and 6). The maturity zone of the source rocks of the Yogou Formation, during deposition of the Sokor 1 Formation, is limited to the west of the Araga graben. It reaches greater maturity during the deposition phase of the Sokor 2 formation, which is associated with the main period of hydrocarbon generation and expulsion. The Dibeilla zone corresponds to an area with high hydrocarbon potential. The Total Organic Carbon (TOC) is mainly between 1.0% and 1.95%. The types of organic matter are primarily algae, plants, and animals, accounting for 95%. The organic matter types are mainly Type II 2–III (African Institute of RIPED, 2010). The Boul prospect, located to the north of the Dibeilla zone, corresponds to a zone favorable to hydrocarbon accumulation.

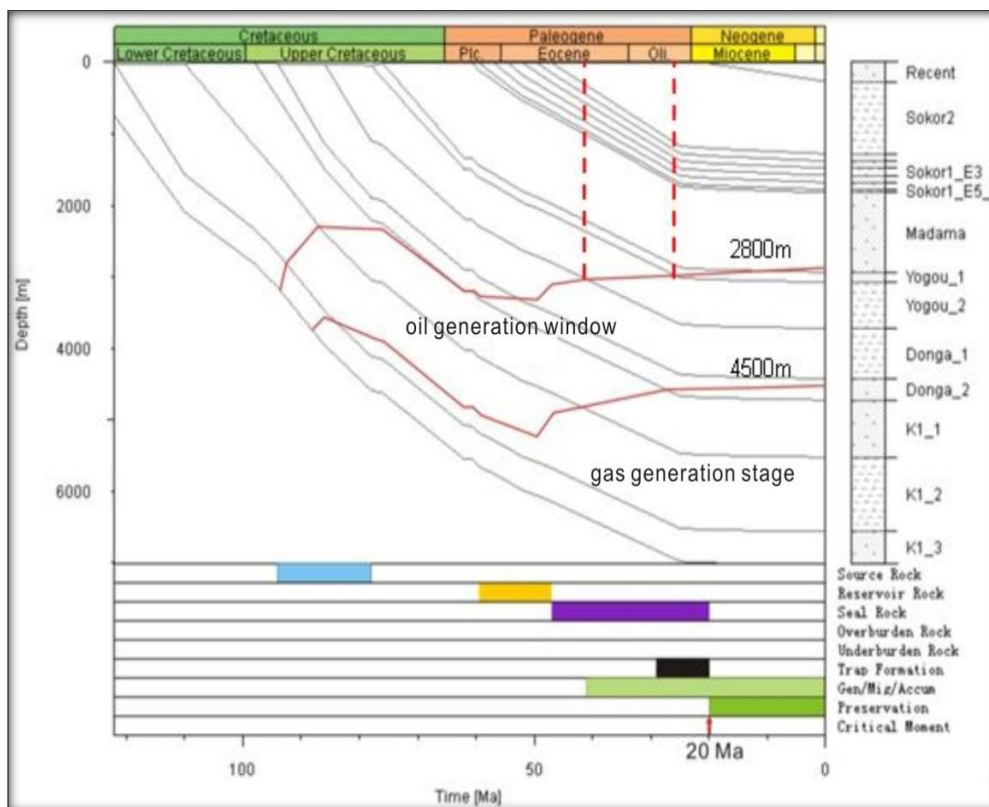


Fig. 5. Modeling the different stages of hydrocarbon formation in the Agadem Dibeilla-1 well

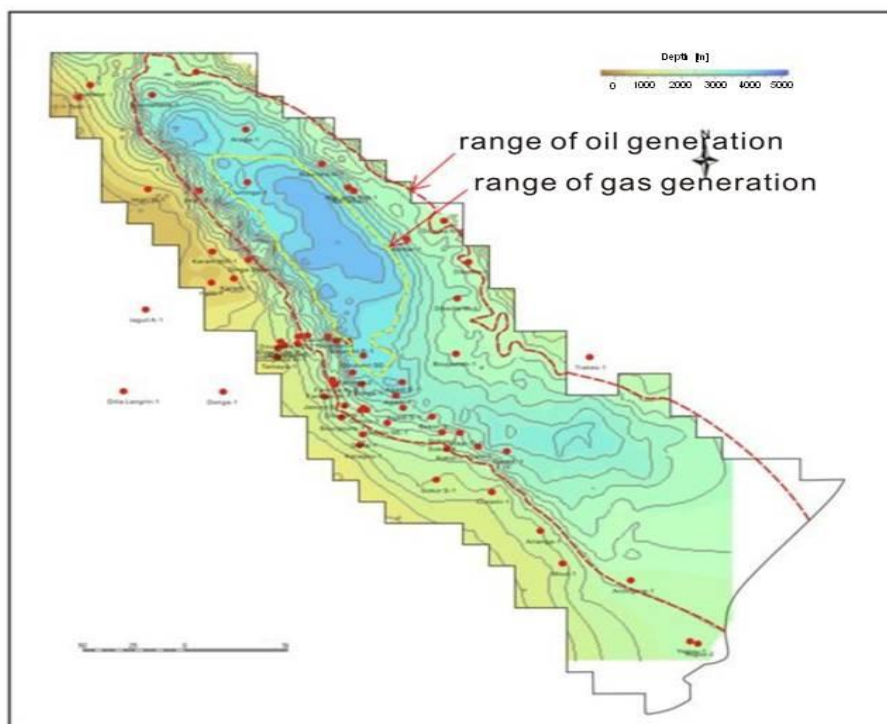


Fig. 6. Current limit of source rock maturation in the Yogou formation in the Agadem block

#### 4.2 RESERVOIR ROCK

Research into seismic features shows that the E5 sand group in the Boul prospect area is a major sandstone reservoir in the Sokor formation of the Boul-1D well (Fig. 7-A). The main characteristics of the lithology of this formation are as follows:

- Heterogeneous formation, with alternating sandstones, argillites, shales, siltstones, and gravels,
- Sandstones (47.36%): fine to medium-grained, well sorted, moderately porous, low fluorescence, no visible oil,
- Argillites (46.79%): consolidated, sometimes sandy,
- Carbonates shales with platelet flow,
- Siltstones: low porosity, very weak fluorescence,
- Gravels: good porosity, weak fluorescence, no visible oil.

The average porosity of this zone is 20.4% with an average permeability of 410 md.

Research into regional sedimentary features indicates that during the deposition of sand group E5, the Boul prospect was located in a distributary channel-type sedimentary sub-environment (Fig. 7-B).

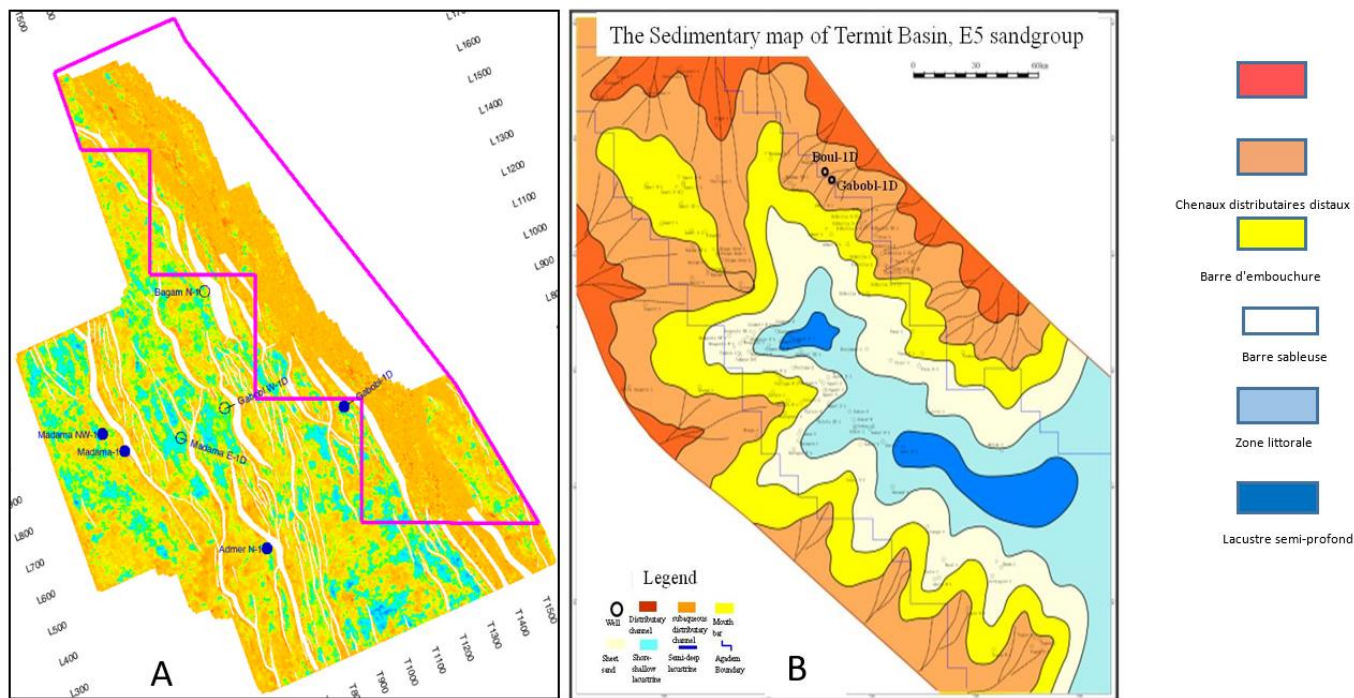


Fig. 7. Gabobl-Boul 3D seismic attributes in sand group E5 (A): the dark yellow hue indicates sandstone levels, while the blue hue represents mudstones. Sedimentary map of the Termit Basin, sand group E5 (B) (Modified from Ministry of Petroleum, Niger, 2016)

Correlation with the surrounding wells (Madama E-1D; Gabobl W-1D; Gabobl-1D) confirms that sandstones are quite well developed in the Sokor formation at the Boul-1D well (Fig.8).

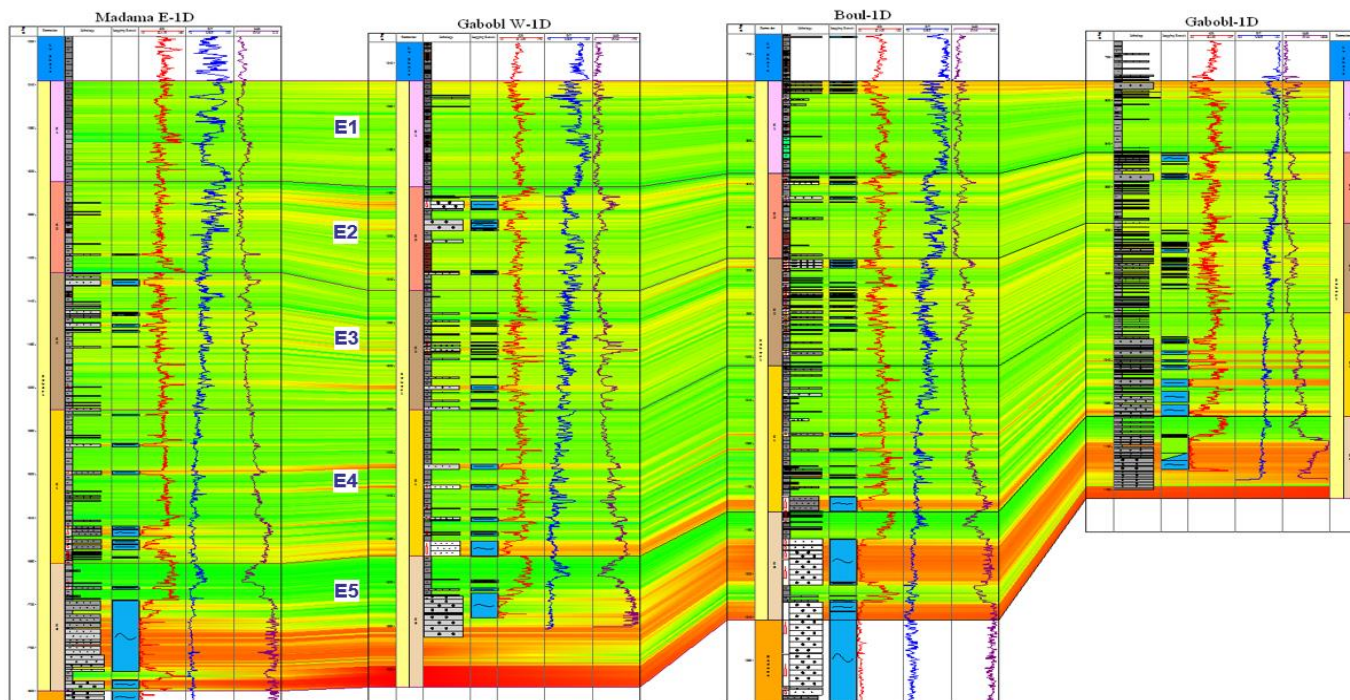


Fig. 8. Correlation of the Madama E-1D, Gabobl W-1D, Boul-1D and Gabobl-1D wells, showing that the Boul-1D well, like the other wells, has the characteristics of a good reservoir

To describe the lithology of the Madama Formation reservoir and to examine the presence of hydrocarbon shows, core samples were taken at depths corresponding to the different peaks of the gas curves. These samples were observed macroscopically, then analyzed by fluorescence (Fig. 9). The analytical results are presented in Table 1. The main characteristics of this formation (1399 to 1560 m) are as follows:

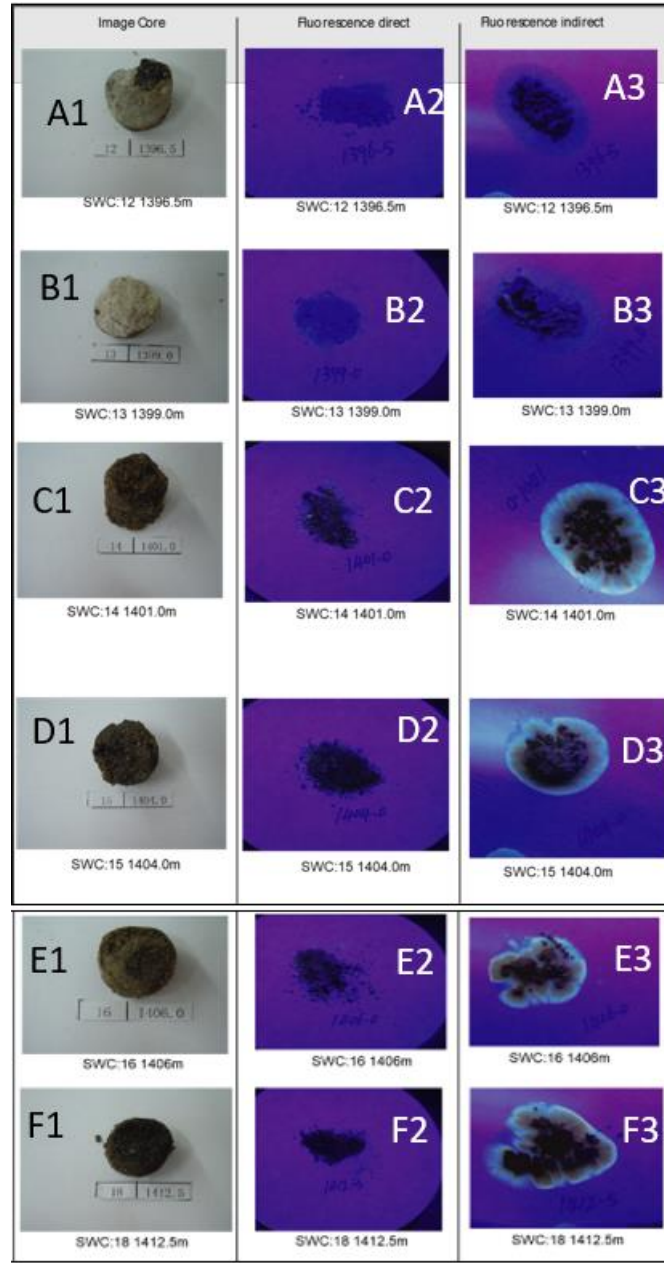
- Formation dominated by coarse to very coarse sandstones, with good porosity,
- Sandstones (82.98%): generally unconsolidated, with pure quartz and more pronounced fluorescence than in the Sokor Formation,
- Weakly consolidated shales (17.02%).

The average porosity of this zone is about 21.63% with an average permeability of 305 md.

**Table 1. Core analysis results for the Boul-1D well**

Core	Interval (m)	REC (cm)	Lithology and description of showings
A	1396,5	1,7	Medium sandstones, olive gray, moderately consolidated (Fig.9, A1)
B	1399,0	1,1	Fine, moderately consolidated sandstones with well-sorted and rounded to subrounded grains, light-gray in color. The matrix is sometimes clayey. Porosity is medium. No evidence of oil. (Fig.9, B1).
C	1401,0	1,4	Very fine, light gray, moderately consolidated sandstones. Quartz grains are rounded to subrounded, and well sorted. The matrix is sometimes clayey. Porosity is moderate and there is no visible oil staining. There is no direct fluorescence (Fig.9, C2), implying an absence of residual oil.
D	1404,0	1,8	Fine to medium, moderately sorted sandstones, subrounded to subangular quartz grain, dark brown in color, moderately consolidated,. Porosity is average. Traces of dark-gray oil are present, with slight fluorescence and abundant blooming. Light-brown residual oil is visible (Fig.9, D3).
E	1406.0	1,3	Fine to medium-grained moderately consolidated sandstones, dark-brown, with subrounded to subangular quartz grains, moderately sorted. The matrix is clayey. Porosity is medium. The sample shows traces of dark gray oil, characterized by pale yellow direct fluorescence. The residual oil is light brown in color (Fig. 9, E3).
F	1412.5	0,5	Very fine, moderately consolidated sandstones with rounded to subrounded, moderately sorted quartz grains, dark-brown in color. The matrix is sometimes clayey. Porosity is medium. These sandstones show traces of dark-gray oil, with a slight pale-yellow fluorescence. The residual oil is light brown in color (Fig. 9, F3).

Analysis of these cores has revealed the existence of reservoir rock and confirmed the presence of hydrocarbon showings.



**Fig. 9. Photographs of analyzed core samples**

- (1) A1 to F1: Unanalyzed raw samples,
- (2) A2 to F2: Samples observed by direct fluorescence,
- (3) A3 to F3: Samples observed by indirect fluorescence.

With a view to further investigations to confirm reservoir zones, the density of the fluids present was estimated. This involved plotting the pressure curve along the zones identified as porous and permeable. The pressure data (Table 2) were used to produce the RFT curve (Fig. 10). From this curve, the pressure gradient was determined (equation below). This gradient is used to calculate both the density of the fluid present and the pressure of the medium. This approach enabled to identify the nature of the fluids (oil, gas or water).

Table 2. Pressure measurements (RFT) (Ministry of Petroleum, Niger, 2017)

n° Test	Profondeur (m)	Gauge Type	Pression hydrostatique initiale (psi)	Pression mesurée (psi)	Pression hydrostatique finale (psi)	Temp. (°C)
1	940.5	10K	1698.2	1259.6	1697.5	53.88
2	942	10K	1699.9	1261.9	1700.3	54.05
3	943	10K	1701.7	1264.0	1702.0	54.22
4	1268	10K	2273.7	1719.6	2275.0	57.23
5	1269	10K	2277.3	1720.7	2277.4	57.77
6	1270	10k	2279.1	1723.7	2279.2	58.19
7	1271	10K	2280.8	1724.7	2281.1	58.49
8	1305	10K	2340.2	1774.7	2340.2	59.12
9	1306	10K	2341.9	1777.5	2342.6	59.33
10'	1306.7	10K	2343.0	1778.2	2342.8	59.53
11	1326	10K	2375.1	1803.9	2374.8	60.04
12	1327	10K	2376.8	1806.0	2376.0	60.23
13	1329	10K	2379.5	1808.6	2378.7	60.39
14	1338	10K	2394.6	1922.0	2394.5	60.44
14'	1338.3	10K	2395.0	1822.1	2394.8	60.47
15	1340	10K	2397.9	1824.4	2396.8	60.60
16	1341	10K	2398.9	1826.5	2398.3	60.66
17	1343	10K	2401.7	1829.3	2401.4	60.73
18	1370	10K	2448.4	1868.0	2448.1	60.77
19	1372	10K	2451.5	1870.8	2451.5	60.84
20	1374	10K	2454.6	1874.0	2454.4	60.96
21	1376	10K	2458.2	1877.1	2458.0	61.06
22	1390	10K	2482.1	1897.0	2481.7	61.18
23	1395	10K	2490.1	1903.9	2490.0	61.28
24	1400	10K	2499.0	1911.5	2498.6	61.35
25	1405	10K	2506.9	1918.7	2506.6	61.48
26	1475	10K	2628.8	2018.7	2629.6	61.73
27	1600	10K	2848.1	2195.4	2849.0	62.45
28	1900	10K	3376.3	2618.8	3377.1	63.40

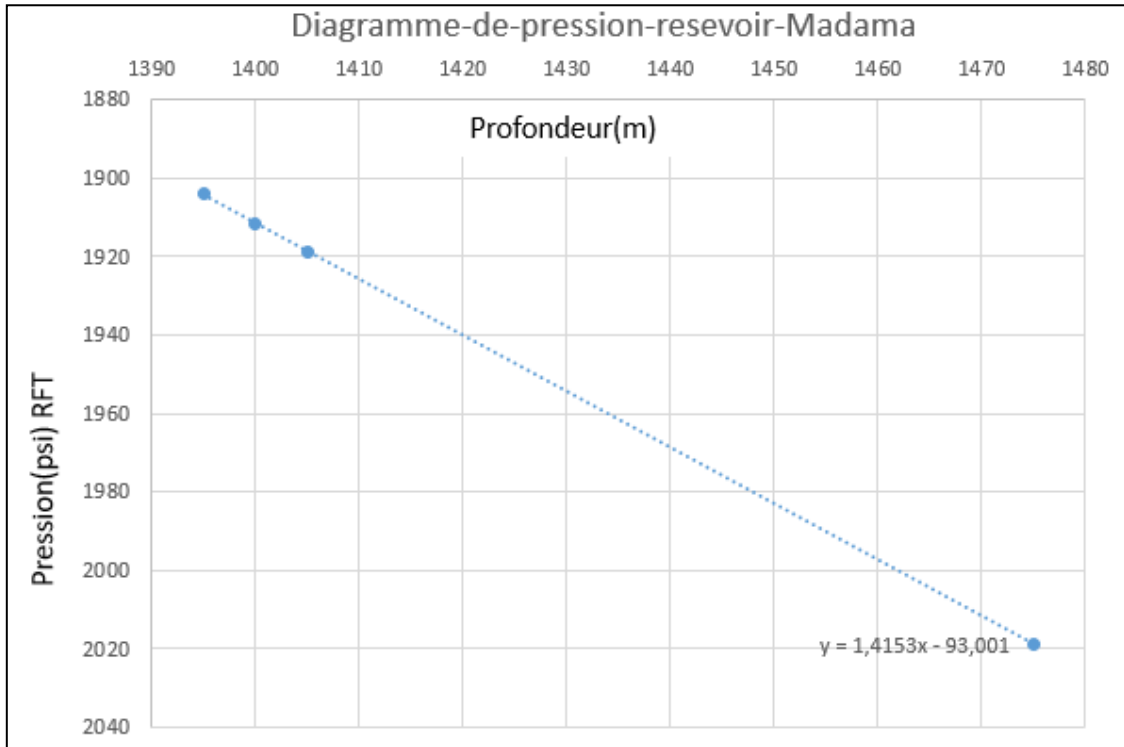


Fig. 10. RFT diagram of the Madama reservoir interval between 1398.5 to 1410.3 m (Boul-1D)

The RFT curve plots pressure versus depth in the target zone corresponding to the Madama formation. The curve thus obtained has the equation:  $Y = ax + c$ , with  $a$  the directing coefficient giving the pressure gradient, and  $c$  the y-intercept. After projecting the pressure data from the Boul-1D well into Excel, the equation of the straight line is directly obtained ( $y = 1.4153x - 93.001$ ), giving the value of the coefficient  $a$ , which is 1.41. Density is calculated in standard petroleum practice by the formula:  $Density = \frac{a}{1.422} = \frac{1.41}{1.422} = 0.99 \text{ g/cm}^3$ ,  $a$  being the pressure gradient and 1.422 a conversion constant from psi/m to  $\text{g/cm}^3$ .

The density value obtained is close to 1, which corresponds to the density of a heavy oil. So, at the Boul-1D well, the Madama reservoir would be saturated with heavy oil.

### 4.3 CAP ROCK

In the Termit basin, the middle and lower parts of the Sokor2 formation were formed close to the maximum flooding surface. A vast zone of thick, continuous Sokor lacustrine argillites developed (Fig. 11), constituting the main basin-wide cap rocks. These argillites strata range in thickness from 300 to 1000 m in most areas of the basin. These layers are distributed continuously throughout the basin (Fig. 12) and has only been eroded in: (i) the northern parts of the Soudana “structural uplift”, (ii) the Termit West Platform and, (iii) the Termit East Slope.

The Araga tectonic unit, in which the Boul prospect is located, is marked by a consequent thickness of lacustrine argillites, enabling them to play the role of cap rock. This is illustrated by the correlation of wells in the Gabobl-Boul3D, which shows that the argillites in the lower part of the Sokor formation and the Low Velocity Sand (LVS) group are over 350 m thick, covering the entire Sokor1 formation, thus forming a good cap rock at basin scale (Fig.12).

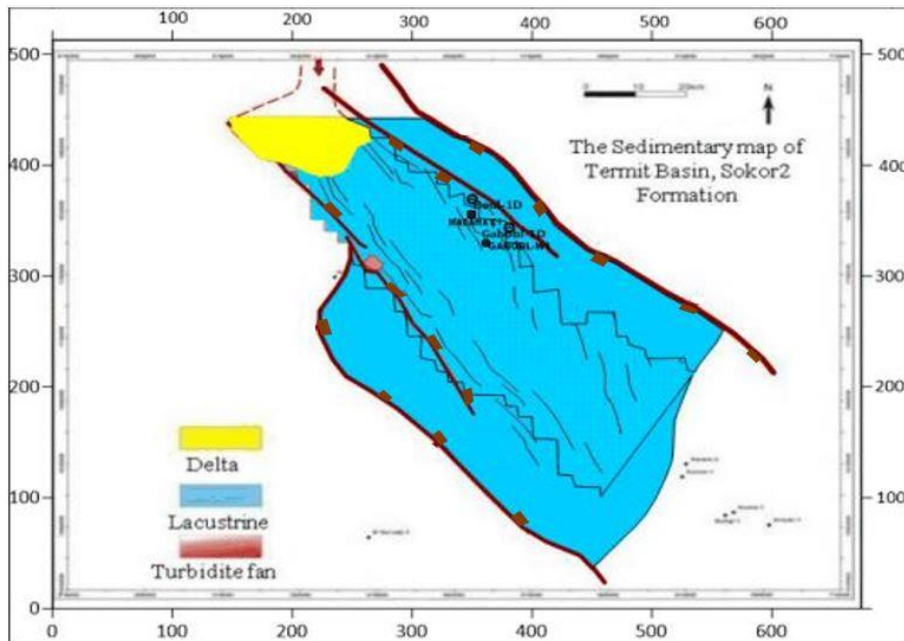


Fig. 11. Lateral variation of depositional environments in the Sokor 2 formation.

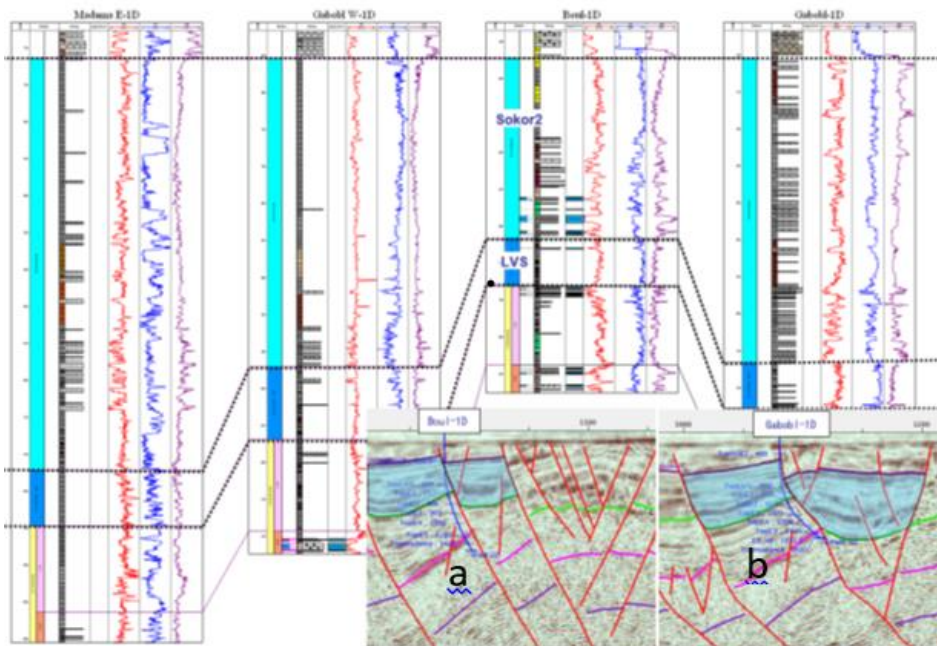


Fig. 12. Correlation of wells (Madama E-1D, Gabobl W1-D, Boul 1-D and Gabobl 1-D) showing the presence of cap rocks in the Boul-1D well

#### 4.4 THE TRAPS

The Boul-1D and Gabobl-1D well traps are structural traps, closely associated with synsedimentary normal faults (Figs. 12 a and b). These are antithetic fault blocks that can be observed on the seismic profiles in Figs. 12 a and b. The seismic profiles show a continuity of reflectors implying a reliability of the traps (Figs. 13 and 14).

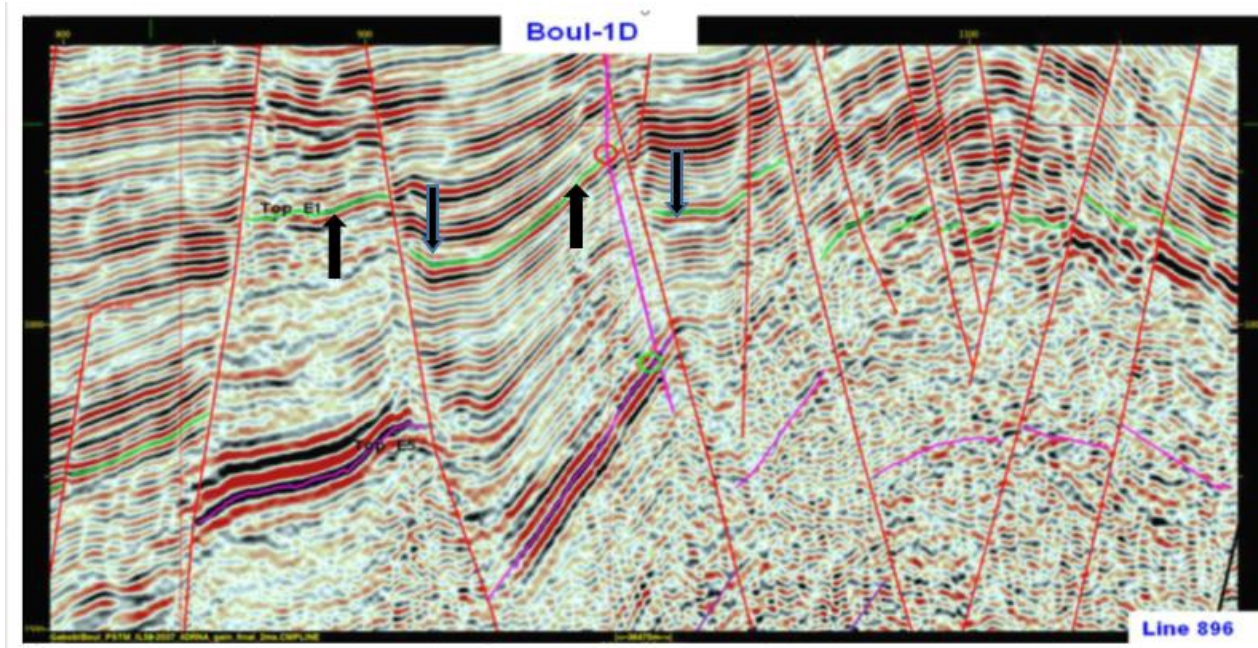


Fig. 13. Boul-1D seismic line 896 profile

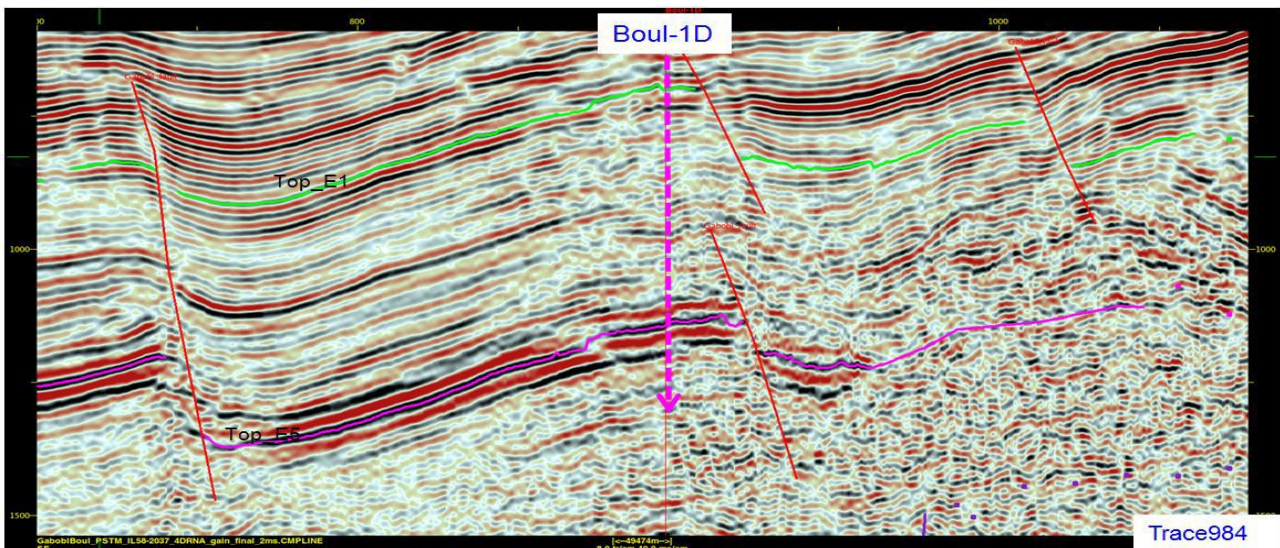


Fig. 14. Boul-1D seismic line 984 profile

#### 4.5 HYDROCARBON MIGRATION

Research into hydrocarbon migration in the Araga graben, including the Boul prospect, indicates that:

- The maturity ranges of the Yogou Formation source rocks, during deposition of the Sokor1 Formation, can be seen to the west of the graben. It reaches maximum maturity during deposition of the Sokor2 formation, corresponding to the hydrocarbon generation and expulsion phase (Fig. 15).
- The hydrocarbons thus generated, in the bedrock of the Yogou Formation, begin their migration after emplacement of the Madama Formation. They migrate from the western part of the graben towards the east. The emplacement of the Sokor 2 Formation is contemporaneous with the graben-wide migration of hydrocarbons (Figs. 16 and 17).

The simulation results are consistent with the current distribution of oil and gas reservoirs. Faults are the main routes for hydrocarbon migration. They also act as traps in the Sokor 1 and Madama reservoirs. In view of the above, we can deduce that the Boul prospect also corresponds to a zone favorable to hydrocarbon accumulation.

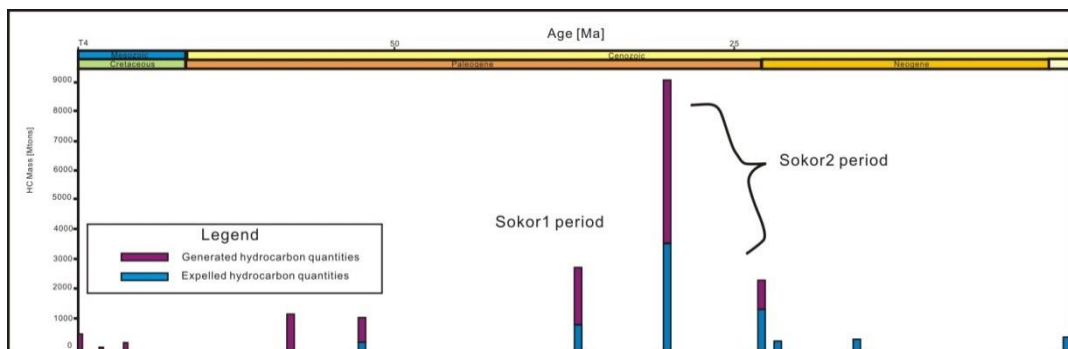


Fig. 15. Simulation of the quantities of hydrocarbons generated and expelled at different times in the Araga graben

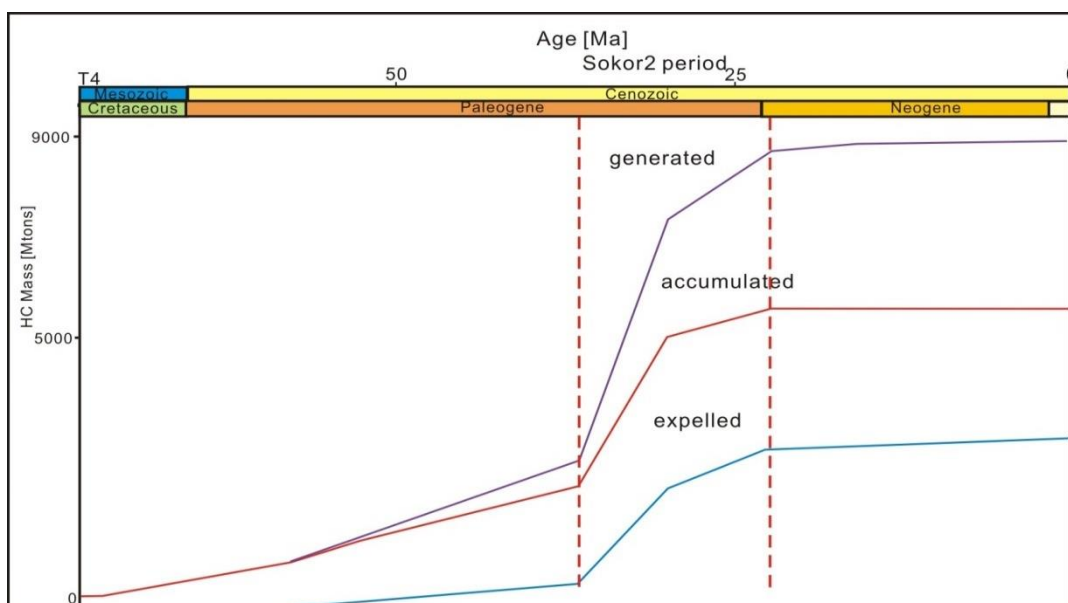


Fig. 16. Simulation of the quantities of hydrocarbons generated and expelled by the source rock of the Yogou Formation in the Araga graben

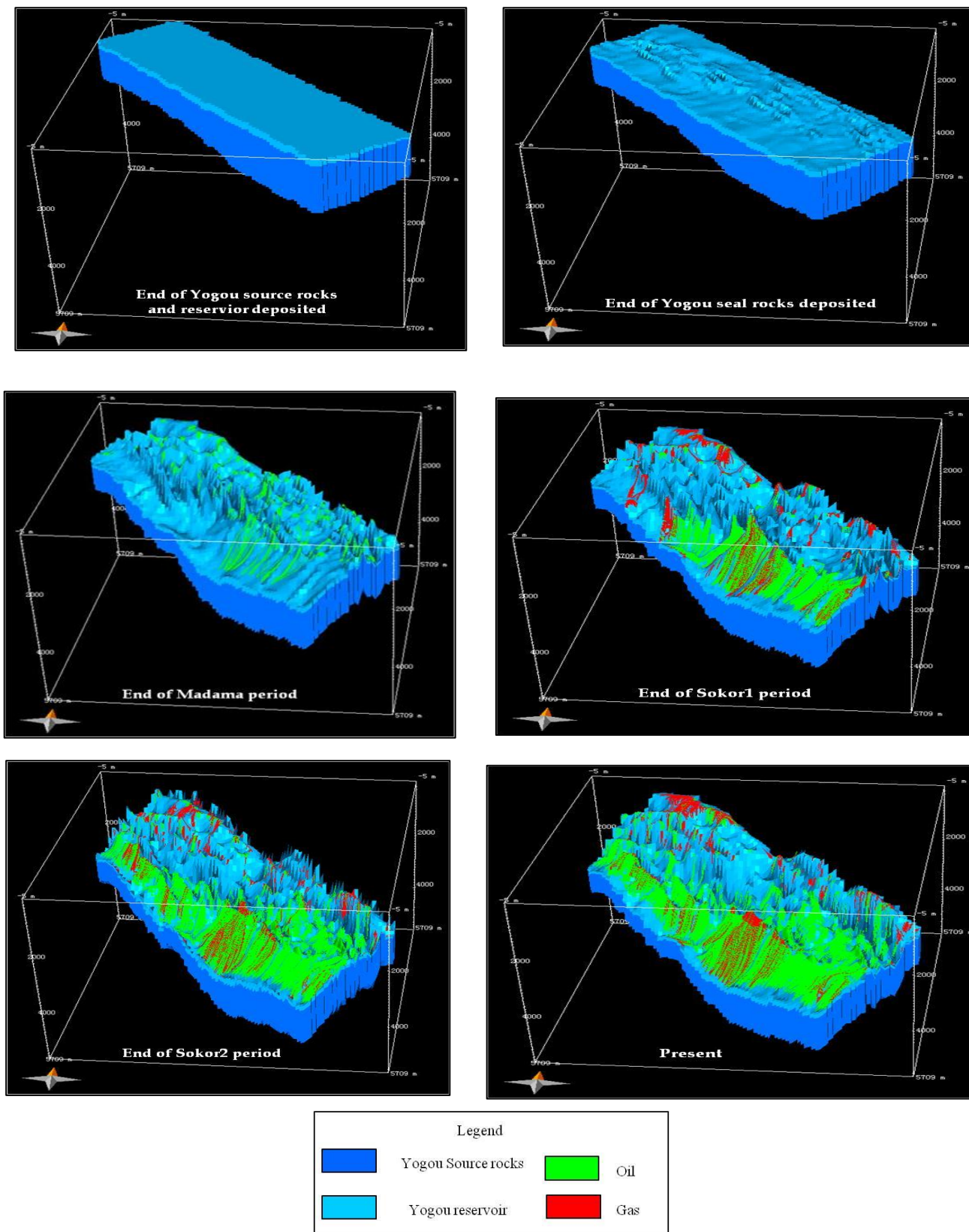


Fig. 17. Simulation of 3D hydrocarbon accumulations in the Yogou Formation, (Araga graben)

#### 4.6 PRESERVATION (LATERAL SEALING)

Lateral sealing research shows that there is a high risk for the Boul prospect, as the main target sandstone layers E4 and E5 in the upper compartment are juxtaposed with E3 and E4 in the lower compartment (Fig. 18). From a lithological point of view, the E3, E4 and E5 sandstone layers lack sufficient interbedded argilites levels, presenting a high risk of hydrocarbon leakage (Fig. 18).

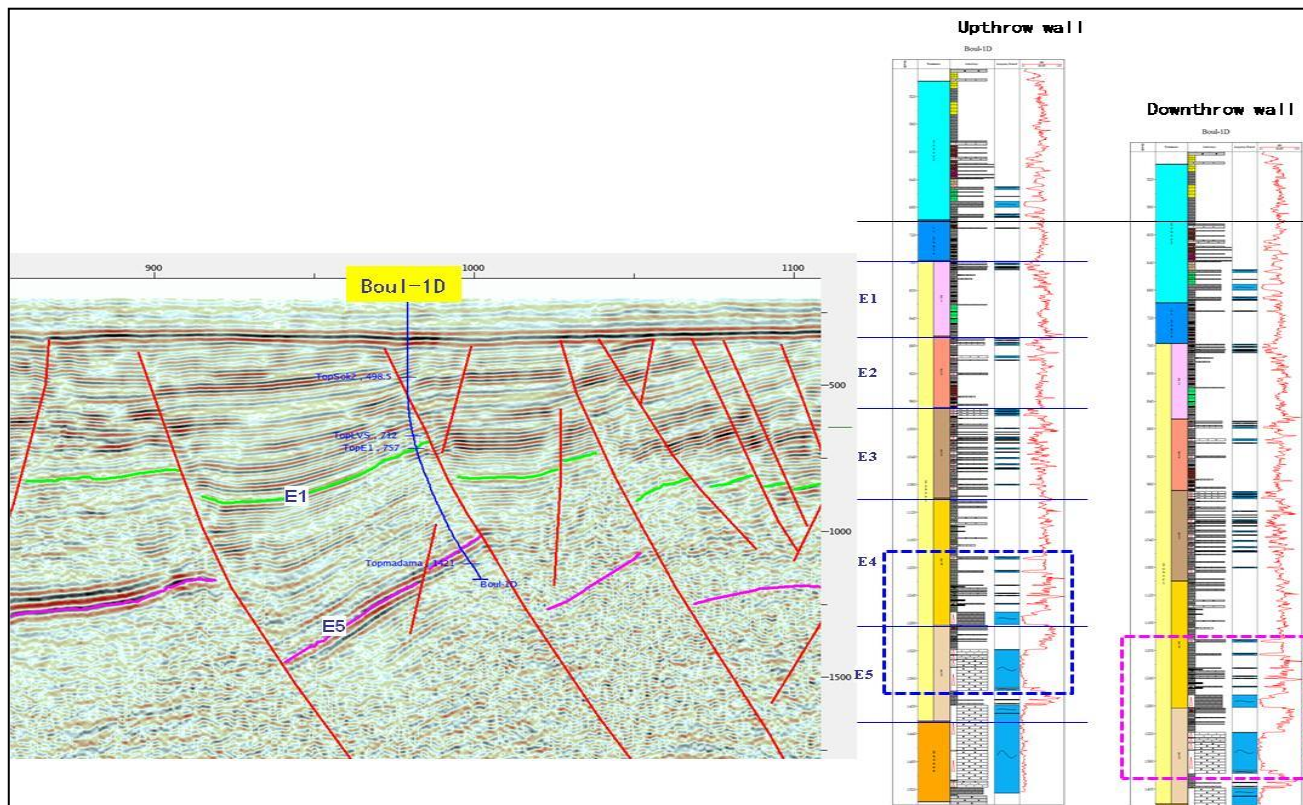


Fig. 18. Lithological juxtaposition for the Boul-1D Structure

It should be remembered that, in the Agadem block, most of the cap rocks have a shale percentage (cut off) assumed to be greater than or equal to 40% ( $V_{shale} \geq 40\%$ ). This means that the cap rocks must have a shale content significantly higher than this value.

The Shale Gauge Ratio (SGR or % shale volume), representing the total shale volume in relation to the vertical rejection of a given fault in the reservoir zone compartment, and its inverse, the Smear Shale Factor (expressing the shale volume in the juxtaposition zone compartment), are essential tools for characterizing the tightness of a fault.

The reference SGR value, expressing the volume of shales required to act as cap rock to the reservoir layers in this part of the Agadem block, is greater than 0.4 (40%). For the Boul prospect, the value is around 0.2 (i.e. 20%). This value indicates that tightness along the fault plane is compromised, resulting in a risk of lateral hydrocarbon migration (Fig. 19).

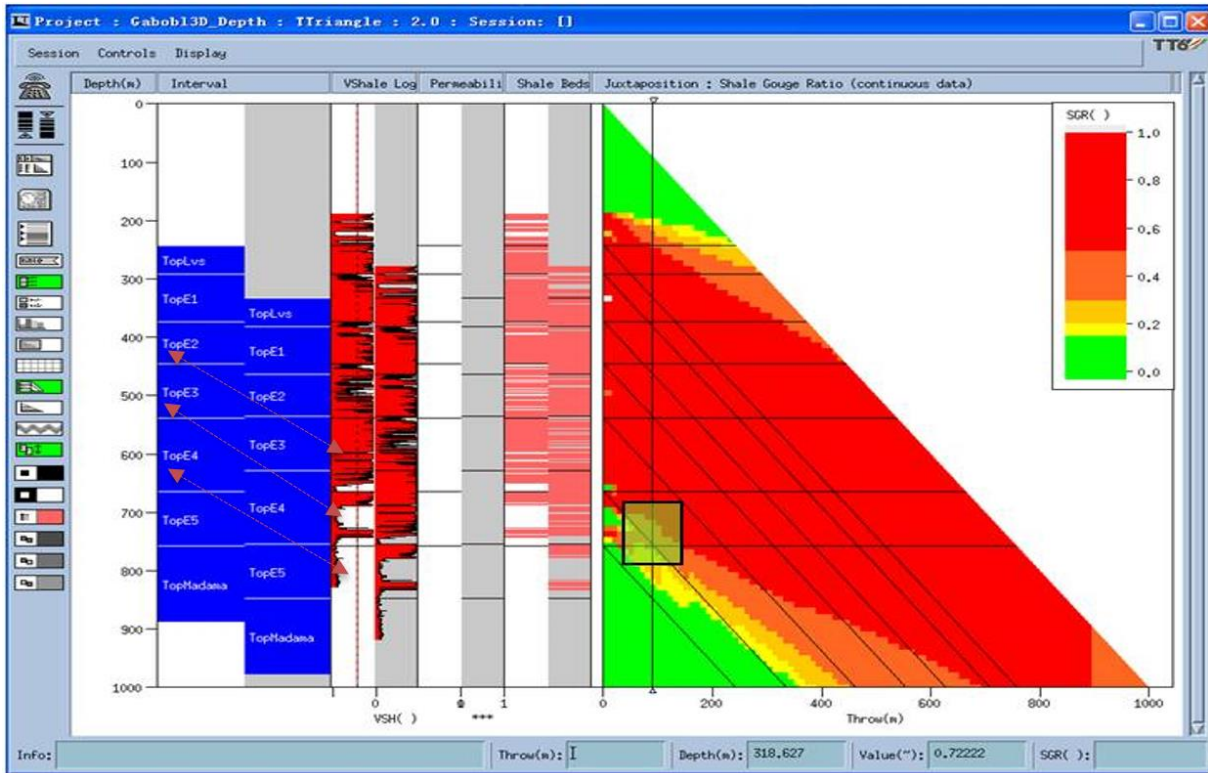


Fig. 19. Schematic of the triangular SGR liner on the Boul-1D shale

4.7 EXISTENCE OF A DISSIPATION SYSTEM

Geological analysis and interpretation of the Boul-1D well reveals the existence of a hydrocarbon dissipation system on the west side of the Boul Prospect. This is due to the fact that the Madama sandstones outcrop directly at surface. Consequently, the conditions for oil and gas accumulation are not met in this zone (Fig. 20).

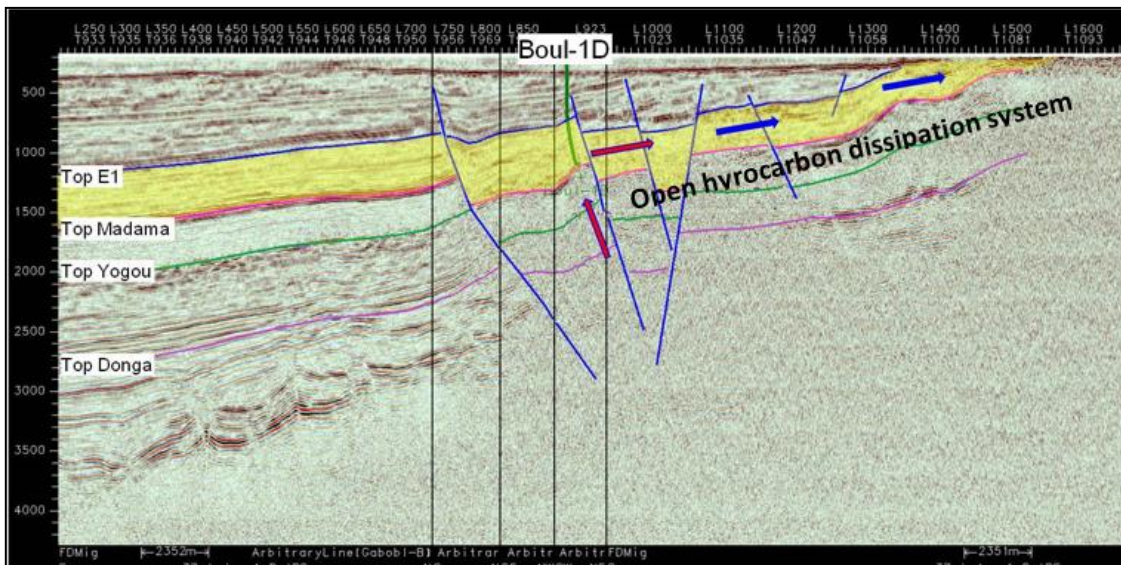


Fig. 20. Interpretation of the seismic line crossing the Boul-1D well

To further investigate this dissipation phenomenon, these results were compared with those from the Madama E-1D and Bagam N-1 wells, which lie in the same tectonic unit (Araga Graben) as the Boul-1D well. The same dissipation problem was observed in these wells, which are dry (Figs. 21, 22 and 23).

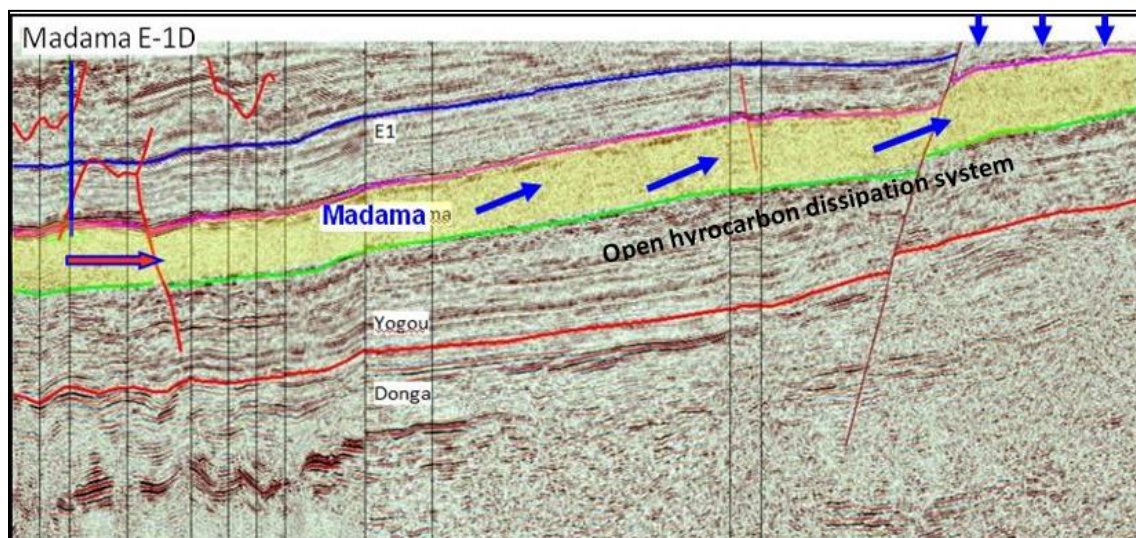


Fig. 21. Interpretation of the seismic line crossing the Madama E-1D well near the Boul prospect

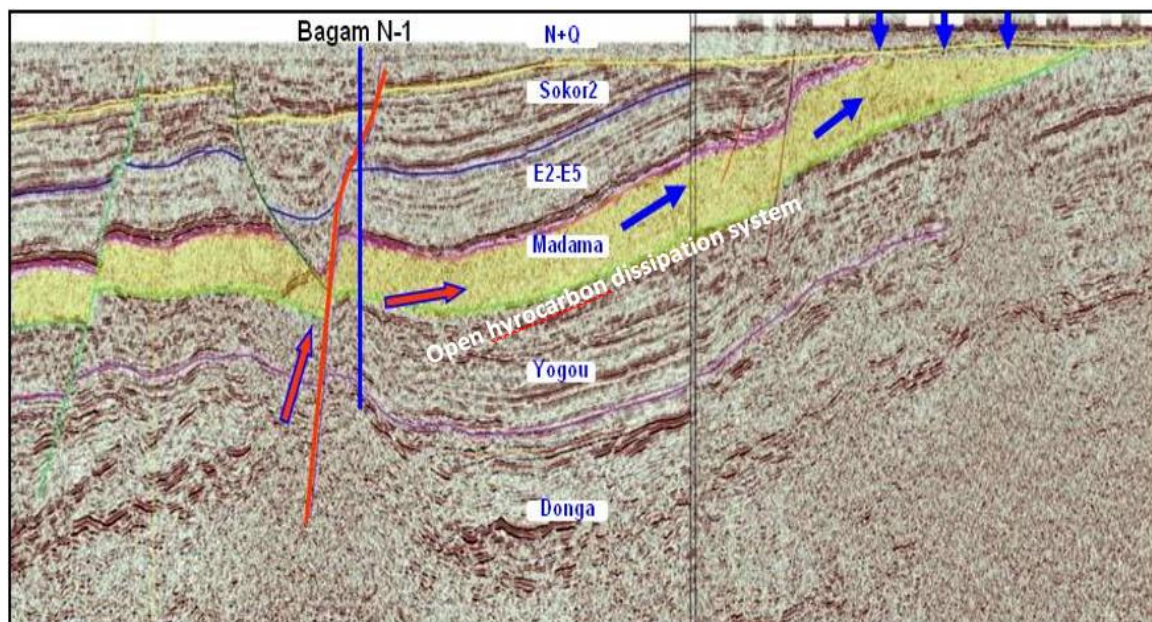


Fig. 22. Interpretation of the seismic line crossing the Bagam-1D well near the Boul prospect

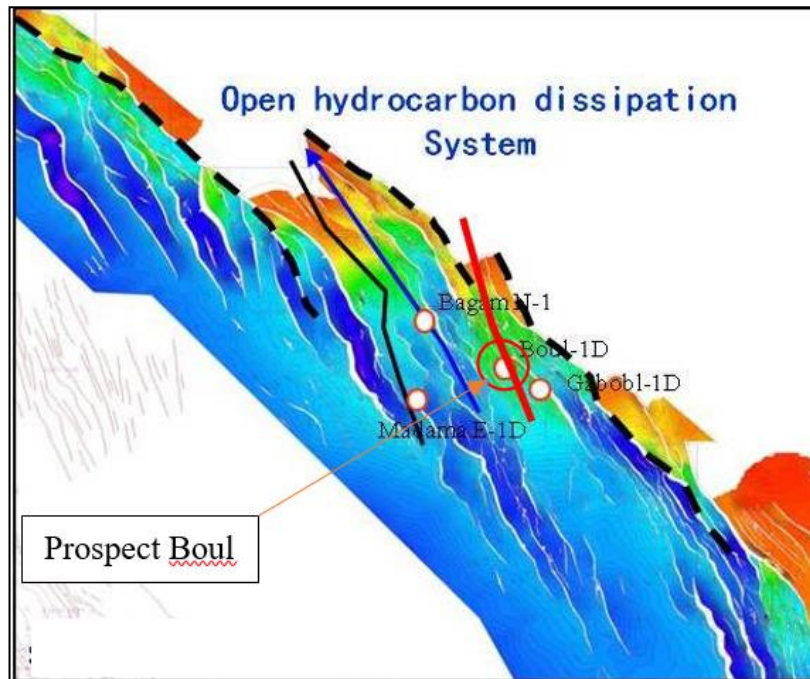


Fig. 23. Open hydrocarbon dissipation system on the western of the Boul prospect.

## 5 CONCLUSION

As a result of this study, the following conclusions have been drawn:

- The petroleum system (source rock, reservoir rock, cap rock, migration, and accumulation) of the Boul-1D well has many similarities with other positive wells;
- From a structural point of view, the lateral seal integrity of the faults in the Boul trap is deficient, which does not favor hydrocarbon accumulation;
- To the west of the Boul prospect, the NW-SE trending fractures affecting the Madama Formation act as hydrocarbon dissipation drains.

The lateral seal integrity is the primary cause of drilling failures in exploration activities in the northeastern part of the Termit Basin. It is the most critical factor that requires greater attention. The phenomenon of hydrocarbon dissipation is the second key factor that should be closely monitored when evaluating prospects in this area.

## REFERENCES

- [1] Konaté M, Ahmed Y et Harouna M. 2019. Structural evolution of the Tefidet trough (East Aïr, Niger) in relation with the West African Cretaceous and Paleogene rifting and compression episodes. *Comptes rendus – Géoscience*, 351 (2019), pp 355-365.
- [2] Genik G J. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic (C.A.R.) [J]. *Tectonophysics*, 1992, 213 (1/2): 169-185.
- [3] Tang Ge, Sun Zhihua, Su Junqing, et al. Study of Cretaceous sequential stratigraphy and sedimentary system in Termit Basin of West Africa [J]. *China Petroleum Exploration*, 2015, 20 (4): 81-88.
- [4] Xue Liangqing, Wan Lunkun, Mao Fengjun, et al. Petroleum migration and accumulation in Termit Depression of East Niger Basin and implications for discovery of Well Dibeilla [J]. *China Petroleum Exploration*, 2012, 17 (4): 53-59, 7.
- [5] Zhang Qinglin, Hou Guiting, Pan Xiaohua, et al. Mechanics of Termit Basin in Central Africa rift system [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2013, 37 (3): 377-383.
- [6] Liu Kangning. The study on sequence stratigraphy, sedimentary systems and favorable reservoir prospecting of Cretaceous in Termit Depression, Niger [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- [7] Liu Jiguo, Li Meijun, Mao Fengjun, et al. Reservoir geochemistry in Termit Basin, rift system of Central and West Africa [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020: 5.

- [8] Wang Yuhua, Mao Fengjun, Wang Zhiyao, et al. Tectonic characteristics and control effect of hydrocarbon accumulation in Termit Basin [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2018, 11 (4): 12-16.
- [9] Maurin, J.C. and Guiraud, R. (1993) Basement Control in the Development of the Early Cretaceous West and Central African Rift System. *Tectonophysics*, 228, 81-95.
- [10] Binks R M, Fairhead J D. A plate tectonic setting for Mesozoic rifts of West and Central Africa [J]. *Tectonophysics*, 1992, 213 (1/2): 141-151.
- [11] Yuan Shengqiang, Dou Lirong, Cheng Dingsheng, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics and exploration direction of Termit superimposed marine-continental rift basin, Niger [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2023,50 (2): 238-249.
- [12] Wan Lunkun, Liu Jiguo, Mao Fengjun, et al., 2014. The petroleum geochemistry of the Termit Basin, Eastern Niger [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 51: 167-183.

## CONTRIBUTION A L'ETUDE CARTOGRAPHIQUE ET TECTONIQUE DE LEMBA ET SES ENVIRONS (SECTEUR DE PATU, PROVINCE DU KONGO CENTRAL)

### [ CONTRIBUTION TO THE CARTOGRAPHIC AND TECTONIC STUDY OF LEMBA AND ITS SURROUNDINGS (PATU SECTOR, KONGO CENTRAL PROVINCE) ]

*KAHINDO KATOTO Danielle<sup>1</sup>, DIEMO SERGE<sup>1,2</sup>, NGURU MAHA Esther<sup>3</sup>, BONDO KAZADI Emmanuel<sup>3</sup>, TSASA MABIALA Bibiche<sup>1</sup>, NGUMBA NGUMBA Victoire<sup>1</sup>, KAZI KATYA Solange<sup>1</sup>, LAKUBU ESAS Patrick<sup>1</sup>, and WEBANA BANAKPO Mireille<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centre National de Télédétection, Kinshasa, State, RD Congo

<sup>2</sup>Département d'Exploration-Production pétrolière, Faculté de Pétrole, Gaz et Energies renouvelables, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

<sup>3</sup>Département des Géosciences, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** A regional cartographic and tectonic study provided us with valuable information on the geological processes that shaped this region and its structural characteristics. This study allowed us to better understand the regional tectonics and briefly describe the geological history of the region and the formation of the main geological units. Geological mapping: Produce a detailed geological map of the rock formations of the region, including major geological units, faults, folds, lithological contacts and geological structures (faults, folds and deformation zones). The processing of the structural data highlighted the fact that the area was affected by several phases of deformation or orogeny. It is a polyphase zone. Statistical analysis with representation of the fracture distribution confirms the presence of three major peaks. This provides irrefutable proof that the area was affected by: - A family of submeridian breaks including NNW-SSE directed breaks. - An ENE-WSW fracture family. - And another fracture family orthogonal to the previous one, directed WNW-SE. The tectonic regime index ( $R'$ ) values of 2.62 and 2 confirm that the study area was subjected to two types of regimes: the compressive regime and the shear regime. Using Win Tensor software, we understood that from a tectonic point of view, the area is polyphase, and the analysis with distribution representation highlighted the presence of three major peaks, confirming the presence of three fracture families: the NNW-SSE fracture family, the ENE-WSW fracture family, and the WNW-ESE fracture family. Based on the different results obtained from  $R'$ , the index of the tectonic regime (rotational optimization of stress tensor and PBT axes), two types of tectonic regimes are derived, namely a compressive regime with  $R' = 2.62$  and a shear regime with  $R' = 2$ .

**KEYWORDS:** Fracture, break, tectonics, regime, stress, dip, orientation.

**RESUME:** Une étude cartographique et tectonique régionale nous a offert des informations précieuses sur les processus géologiques qui ont façonné cette région et sur ses caractéristiques structurales. Cette étude nous a permis à mieux comprendre la tectonique régionale et la description brève l'histoire géologique de la région et la formation des principales unités géologiques. Cartographie géologique: Réaliser une carte géologique détaillée des formations rocheuses de la région, incluant les unités géologiques majeures, les failles, les plis, les contacts lithologiques et les structures géologiques (les failles, les plis et les zones de déformation). Le traitement des données structurales fait a mis en évidence le fait que la zone a été affectée par plusieurs phases de déformation ou orogénèse. C'est une zone polyphasée. L'analyse statistique avec représentation de la distribution de fractures confirme la présence de trois pics majeurs. Ce qui en fait la preuve irréfutable que la zone ait été affectée par: - Une famille de cassures subméridiennes reprenant des cassures dirigées NNW-SSE. - Une

famille de cassures ENE-WSW. - Et une autre famille de cassures orthogonale à la précédente dirigée WNWESE. Les valeurs d'index du régime tectonique ( $R'$ ) 2.62 et 2 confirment que la zone d'étude a été soumise à deux types de régime: le régime compressif et le régime cisailant. A partir du logiciel Win Tensor nous avons compris que du point de vue tectonique, la zone est polyphasée et l'analyse avec représentation de la distribution a mis en évidence la présence de trois pics majeurs confirmant la présence de trois familles de cassures: famille dirigée NNW-SSE, famille d'orientation ENE-WSW et la famille WNW-ESE. Partant des différents résultats obtenus de  $R'$ , l'index du régime tectonique (rotational optimization of stress tensor et PBT axes), il découle deux types de régimes tectoniques à savoir un régime compressif avec  $R' = 2,62$  et un régime cisailant avec  $R' = 2$ .

**MOTS-CLEFS:** Fracture, cassure, tectonique, régime, contrainte, pendage, orientation.

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'objectif est de caractériser structurellement les formations géologiques de la région de Lemba en vue de reconstituer l'histoire tectonique de la zone d'étude. En effet, il sera question de réviser l'histoire tectonique de la région et d'essayer d'analyser la géodynamique responsable des structures caractérisant ladite région. Ce travail s'assigne aussi comme objectif de situer les lithofaciès par rapport à leurs périodes de mise en place et de bien délimiter les contours géologiques tout en définissant leurs natures fussent-elles régulières (discordance) ou accidentelles (tectonique).

### 1.2 METHODOLOGIE

Ce travail a pris corps par la symbiose des recherches catégorisées à trois niveaux essentiels, à savoir: l'avant terrain qui consiste en la documentation, le terrain pour effectuer le lever géologique et enfin l'après terrain qui se charge des analyses et de l'interprétation des résultats.

### 1.3 MATERIELS

*Tableau 1. Matériels utilisés*

Matériels	Marque	Utilité
Boussole de géologue (avec clinomètre)	SYLVA	Mesure de la direction et du pendage des couches et microstructures
Marteau	Marteau de géologue	Casser et prélever les échantillons
Global positioning system (GPS)	GARMIN	Localisation géographique
Appareil photo	IPhone 6S plus 16 Méga pixels	Prise des photos des affleurements et échantillons en vue de leurs illustrations
Feutre	BIC	Marquer les échantillons
Stylo, crayon et gomme	BIC, HB crayon	Prise des notes et croquis
Carnet de terrain	Bravo note book (en carton)	Pour la saisie des notes et exécution des croquis
Sac	MARKET	Transport des échantillons
ArcGIS	Version10.3.1.	Traitement des données spatiales
Win-Tensor	Version 5.8.9. (Damien Delvaux et F. Vollmer)	Réalisation des stéréogrammes Caractéristiques des paléo contraintes et des régimes tectoniques
Microscope polarisant	OPTIKA : monoculaire, de grossissement X4	Description de la roche à l'échelle microscopique
Excel et Word	Microsoft office	Traitement statistique des données et rédaction

## 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 2.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

#### 2.1.1 LOCALISATION DU TERRAIN

La cité de Lemba est localisée dans le territoire de Lukula qui comprend plusieurs groupements dont Kisundi, Kibula-Tshandanda..., et fait partie du District de Bas-fleuve en Province du Kongo-central. Notre zone d'étude couvre l'espace allant de 13° 1' 00" à 13° 7' 00" (longitude E), et de 5° 31' 30" à 5° 35' 00" (latitude S) (Figure 1).

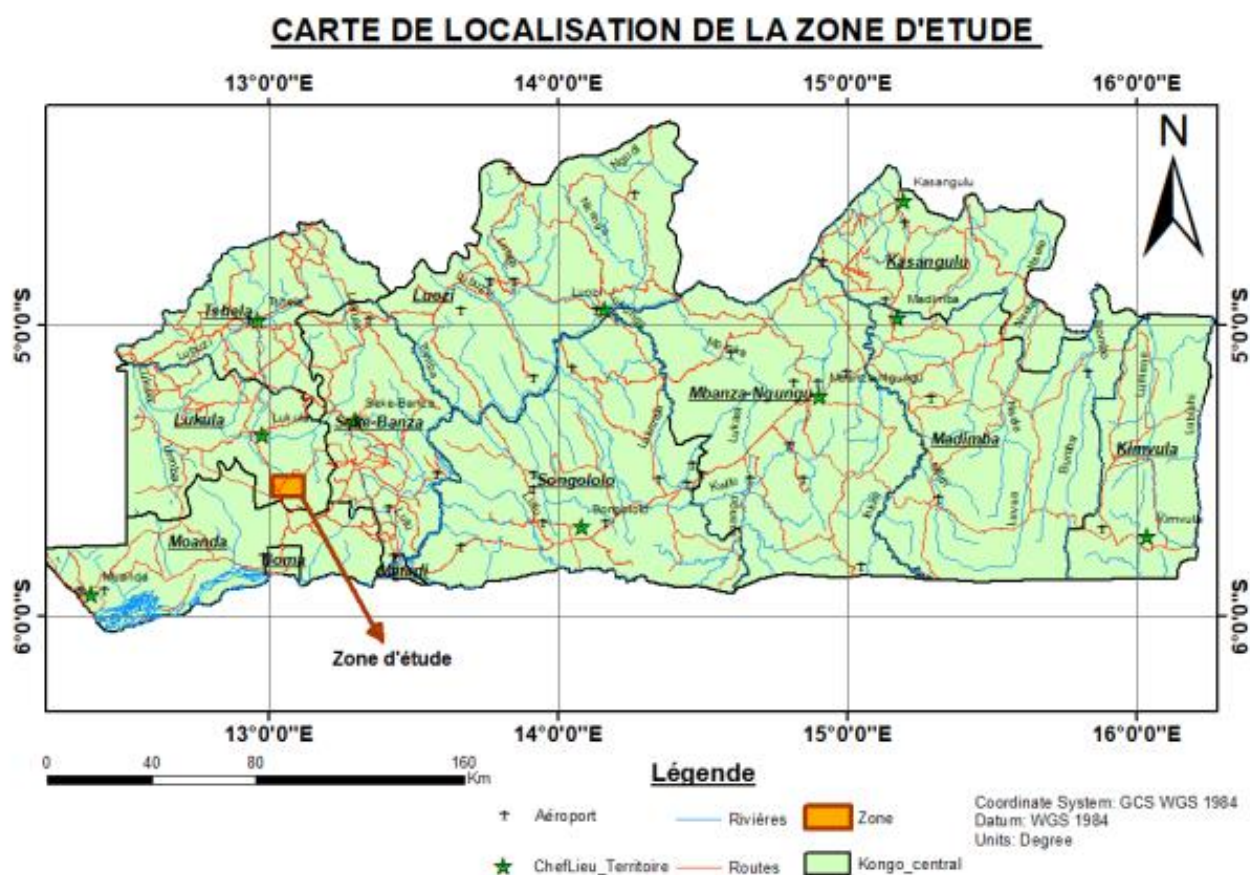


Fig. 1. Localisation du secteur d'étude sur la carte administrative du Kongo-Central

#### 2.1.2 CLIMAT, SOLS ET VÉGÉTATION

##### - Le Climat

Dans le territoire de Lukula, le climat est du type Tropical avec alternance des saisons, une saison pluvieuse allant du mois d'Octobre au mois de Mai et l'autre sèche intervient principalement à mi-mai jusqu'au 15 Octobre (www.caid.cd). Vers la fin du mois d'Août, il s'observe, toute la journée, un déferlement des brouillards humides qu'on appelle localement neige.

##### - Le sol

Le sol de Lemba est de nature argileuse: beaucoup plus rougeâtre, et quelque peu brunâtre.

- La végétation

Notre zone d'étude est composée des savanes et de la forêt de Mayumbe, dans le territoire de Lukula, où elle prédomine. La présence de la réserve de la Luki dans notre secteur d'étude témoigne que ce dernier est majoritairement de grande couverture végétale.

2.1.3 MORPHOLOGIE ET HYDROGRAPHIE


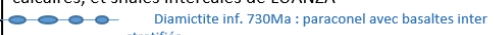
Le secteur de Patu, notre zone d'étude, présente un relief de plateaux, alors que son hydrographie est dominée par des petits cours d'eaux longeant quelques vallées.

2.2 CADRE GEOLOGIQUE

2.2.1 STRATIGRAPHIE

La stratigraphie du Kongo-central est résumé dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Résume les informations relatives à la stratigraphie de la Province du Kongo-Centrale

Temps Géologique	Super groupes	groupes	Sous-Groupes et facies présents		
Phanérozoïques		Groupe KALAHARI	SABLES OCRES		540Ma
			GRES POLYMORPHES INKISI : Arkoses conglomératiques, Psammitique et parfois à grains fins		
Néo protérozoïques	OUEST CONGO	Groupe OUEST CONGOLIEN	S/Grpe MPIOKA	Grès, shales, quartzites, siltites	Pan-African
			S/Grpe SCHISTO-CALCAIRE	<b>NGANDU</b> : calcaires, shales et grès <b>BANGU</b> : calcaires, dolomites, oolites et pseudo oolites de KISANTU, calcaires dolomitiques <b>LUKUNGA</b> : shales et calcaires, dolomies, calcaires, dolomitiques <b>KWILU</b> : dolomies rose et grise, calcaires de BULU, calcaires et shales	
			S/Grpe HAUT-SHILOANGO	 Calcaires, shales gris sombre, grès calcaireux de LUANZA calcaires, et shales intercalés de LUANZA	
			S/Grpe SANSIKWA	 Quartzites, quartzites à talc, argilites	
		Groupe MAYOMBIEN	Phyllade, séricitoschistes intrudés par les massifs granites de lufu-Mativa, rhyolites schistifiées d'inga Sikila/autrement métarhyolites <b>Lufu</b> ◆		
		Groupe ZANIDIEN	Talcshistes, chloritoschistes, micaschistes, seritoschistes, métaquartzites de MATADI, filons doléritiques (ONGENDANGENDA, 2004) ; (TACK, 2001) ; Metabasaltes intrudés par le granites de Noqui, syenite de Mpozo ◆ <b>Noqui</b> ◆ <b>Palabala</b>		
Méso protérozoïque					1000Ma
Paléoproterozoïque					1600Ma
	KIMEZIEN	Socle KIMEZIEN : Migmatiques et Gneiss affleurant à BOMA			Eburnéen

◆ Magmatisme acide  
◆ Magmatisme basique

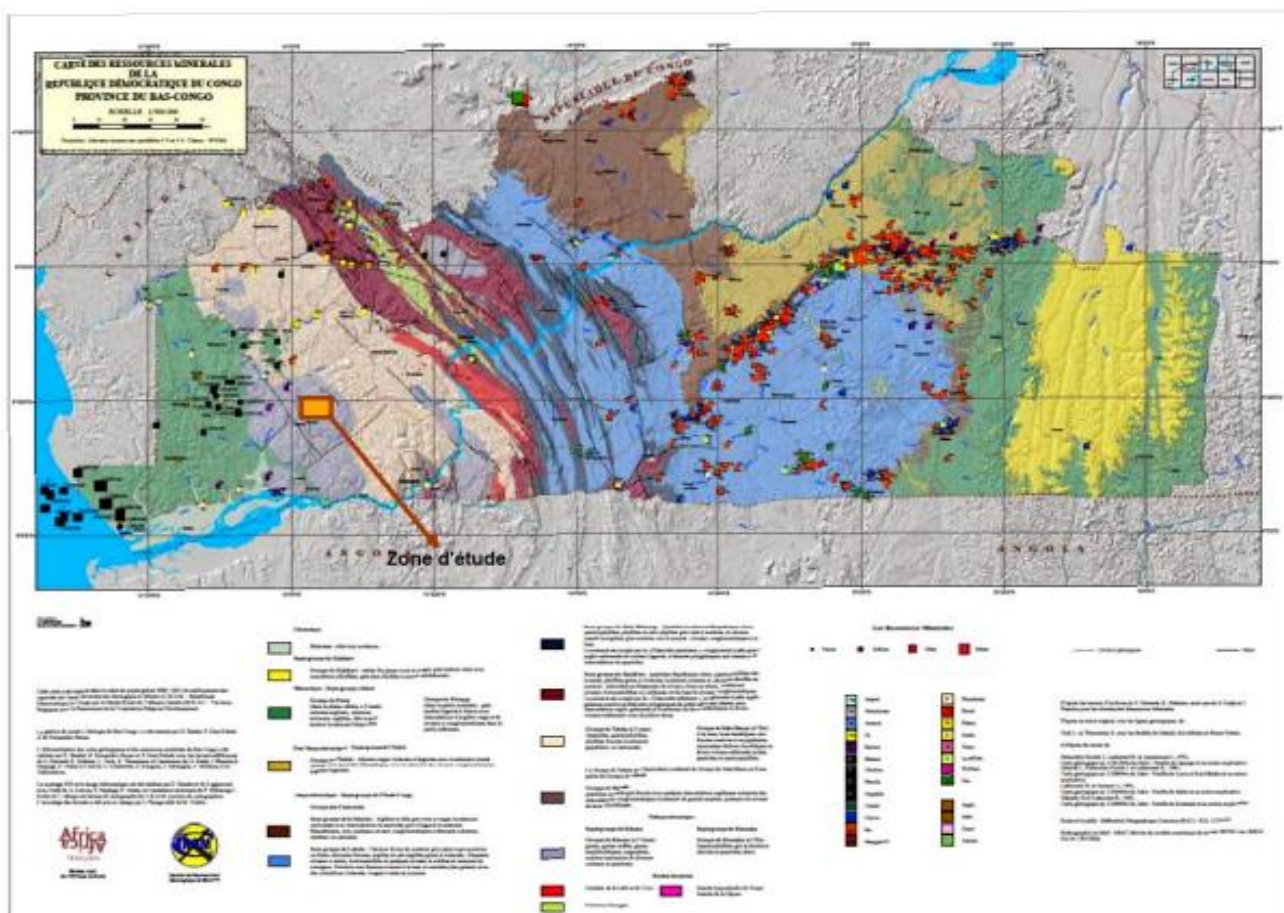


Fig. 2. Indication de notre zone d'étude sur la carte géologique du Kongo central, exécutée en 2013 par la coopération CRGM-MRAC/Echelle 1/500.000

## 2.2.2 TECTONIQUE AU KONGO-CENTRAL

Dans les limites du territoire de la République Démocratique du Congo, les trois principales orogénèses mentionnées ci-dessous ont joué autour du Craton du Congo, progressivement du Paléoprotérozoïque au Néoprotérozoïque:

L'orogénèse Eburnéenne (Tadilienne): affleure dans la partie occidentale du craton et son âge remonte au Paléoprotérozoïque; - L'orogénèse Kibarienne: celle-ci affleure dans la partie orientale du craton et a été datée au Mésoprotérozoïque;

L'orogénèse Panafricaine: d'âge Néoprotérozoïque, celle-ci est localisée à l'Ouest du craton du Congo. Notons que deux de ces trois orogénèses, à savoir l'éburnéen et le panafricain, sont réputées avoir joué dans la région comprenant notre zone d'étude, c'est-à-dire la partie occidentale du craton du Congo. Pour bien cerner le niveau de leur implication dans la structure générale actuelle des formations géologiques du Kongo-Central, nous décrivons succinctement ci-dessous lesdites orogénèses puis nous proposons les éléments de connaissances essentiels sur la chaîne Ouest-Congo:

### A. L'OROGÉNÈSE EBURNÉENNE

C'est un événement orogénique qui a joué au Paléoprotérozoïque et dont l'activité, à l'échelle du globe, est située entre 1.8 et 2.1 Ga.

En République Démocratique du Congo, les terrains éburnéens ont été identifiés dans la partie Sud-Ouest du Kongo-central (autour de la ville de Boma) sous le nom du Supergroupe Kimézien. L'orogénèse éburnéenne a affecté les terrains archéens et paléoprotérozoïques et se caractérise çà et là par un métamorphisme de haut grade (granulites) ainsi qu'un important volume

de plutonisme (Figueiredo, 1989; Teixeira & Figueiredo, 1991; Machado, et al., 1992; Ledru, et al., 1994). Il s'agirait d'une chaîne développée de suite du remaniement de son substratum archéen associé à un important magmatisme. En Amérique, elle a pour équivalent l'orogénèse transamazonienne. Dans le but de reconstituer le contexte géodynamique de cette orogénèse, comme pour la plupart des chaînes précambriennes, plusieurs hypothèses ont été émises. En effet, les données structurales, pétrologiques et géochimiques ont permis de définir l'orogénèse éburnéenne, au même titre que son équivalent américain, comme une chaîne à double vergence résultant de la collision frontale entre les cratons du Congo et de Sao Francisco. Sa direction principale est NW-SE.

## **B. L'OROGENÈSE PANAFRICAINNE**

Selon la description faite par (Unrug, 1992), la dynamique fin-précambrienne est marquée, à l'échelle du globe, par la dislocation de Rodinia (Mésoproterozoïque) et la formation de Gondwana (Néoproterozoïque-Cambrien) suivant le cycle de formation et de fragmentation de supercontinents. Le développement d'un important système de rifts continentaux au Néoproterozoïque a conduit à la mise en place de bassins ayant évolué, dans certains cas, en domaines océaniques. La fermeture de ces bassins, à la fin du Néoproterozoïque, a permis le développement de chaînes de montagnes autour des blocs cratoniques précédemment disloqués. Ces événements tectoniques ont été datés et identifiés en Afrique. Le terme « Panafricain » a été proposé par Kennedy en 1964 pour désigner, sur la base de données géochronologiques, l'évènement tectonothermique qui a conduit à la mise en place des chaînes mobiles autour des cratons africains vers 500 Ma (Kröner & Stern, 2004). Depuis lors, ce concept a été étendu à l'échelle du Gondwana.

De ce fait, tel que défini par Cordani, et al. (2003), l'orogénèse panafricaine ou le cycle panafricain se définit comme un ensemble de chaînes résultant de la convergence de plusieurs blocs continentaux ayant conduit à la constitution du Gondwana à la fin du Néoproterozoïque et au début du Paléozoïque. En Amérique du sud, le Brasiliano 0.7-0.45 Ga, (Alkimin & Marshak, 1998) est l'équivalent du Panafricain. Sur les marges brésiliennes et africaines, l'orogénèse brasiliano-pan-africaine se définit comme une chaîne de montagnes résultant de la collision vers 600 Ma (Franssen & André, 1988; Trompette, 1989; Maurin, et al., 1991; Pedrosa-Soares, et al., 1992; Pedrosa-Soares, et al., 2008) des deux plaques continentales suite à la fermeture des domaines océaniques qui les séparaient jadis. Dans la partie africaine, spécifiquement à la bordure du craton du Congo, se sont développées les chaînes des Damarides entre 550 Ma et 520 Ma (Kröner & Stern, 2004), de Kaoko entre 650 Ma et 550 Ma (Kröner & Stern, 2004), des Oubanguides autour de 620 Ma (Kröner & Stern, 2004) et la chaîne Ouest-Congo entre 560-480 Ma (Nsungani, 2012).

D'un point de vue structural, les unités panafricaines s'orientent suivant des bandes méridionales (ceinture du Mozambique, chaîne transaharienne, la chaîne Ouest-Congo) et des segments orientés E-W (Oubanguides, Damarides) témoignant ainsi d'une variation des directions de raccourcissement suivant les régions. L'impact qu'a eu le cycle panafricain sur les terrains préexistants a fait l'objet de diverses interprétations. Ainsi, quelques auteurs (Choubert & FaureMuret, 1971) ont considéré l'évènement panafricain comme un simple rajeunissement des formations anciennes. Par contre (Black, 1967; Caby, et al., 1981), quant à eux, l'ont décrit comme une véritable tectonogénèse avec une réactivation des anciennes structures.

## **C. LA CHAÎNE OUEST-CONGO**

Localisée sur la marge occidentale du craton du Congo, la chaîne OuestCongo (Figure 3, B), large d'environ 150 à 300 km, s'étend sur près de 1400 km subparallèlement à la côte atlantique entre 1° et 12° Sud (Tack, et al., 2001). Elle affleure depuis le Sud-ouest du Gabon jusqu'au Nord-ouest de l'Angola en passant par la République du Congo et la République Démocratique du Congo. Particulièrement en RDC, elle s'étend de Boma à Mbanza-Ngungu et ces deux points limites marquent respectivement ses contacts avec le socle polycyclique Kimezien remontant de l'Eburnéen (2,1 Ga) à l'Ouest et des roches post-panafricaines à l'Est.

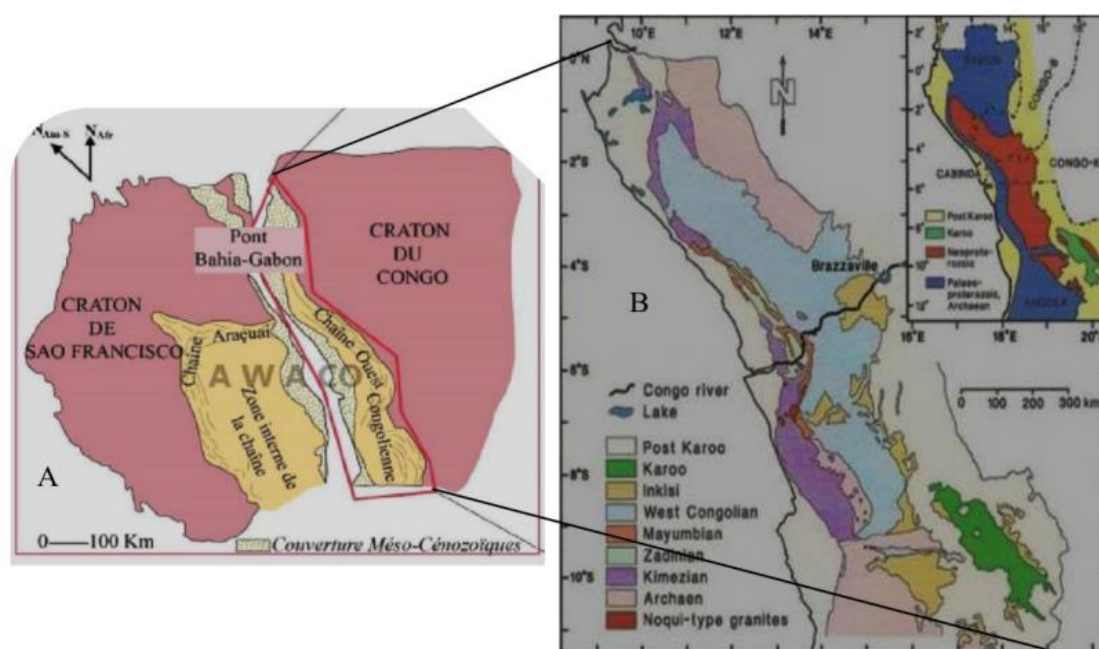


Fig. 3. (A) Carte géologique de la portion du Gondwana occidental mettant en évidence les contours du système AWACO (modifiée selon Pedrosa-Soares et Alkimi, 2011); (B) Carte géologique de la Chaîne Ouest-Congo

La chaîne Ouest-Congo est définie comme une chaîne résultant de la collision entre le craton du Congo à l'Est et le craton de Sao Francisco à l'Ouest lors de la formation du Gondwana occidental durant l'orogénèse Brasiliense/Panafricaine (Tack, et al., 2001; Noces, et al. 2007; Nsungani, P.C., 2012). La collision entre les deux blocs continentaux s'est faite suite à la fermeture du domaine océanique (Océan Adamastor) qui les séparait pendant la dislocation de Rodinia (Tack L., et al., 2010). Cette acceptation a été démontrée partant des corrélations pétrologiques, géochronologiques et géophysiques qui confirment, tout compte fait, l'évidence que le craton Sao Francisco, sur la marge sud-américaine au Brésil, constitue l'extrémité occidentale la chaîne Ouest-Congo fait partie du système orogénique Araçuaí-West Congo Orogen (AWACO) (Pedrosa-Soares, et al., 2008; Tack, et al., 2010; Tait, et al., 2011) (Figure 3). Les travaux menés en République du Congo ont permis de caractériser la chaîne Ouest-Congo comme étant constituée de formations paléoprotérozoïques (voire archéennes) et néoprotérozoïques, l'ensemble étant déformé au cours du panafricain. La chaîne est globalement orientée NW-SE et présente des plis à vergence Est marqués par le chevauchement des unités paléoprotérozoïques sur les unités néoprotérozoïques. Cette structuration permet de subdiviser la chaîne en trois domaines, de l'Est vers l'Ouest: le domaine externe, le domaine intermédiaire et le domaine interne. La déformation dans la chaîne Ouest-Congo croît de l'Est vers l'Ouest et se caractérise par deux phases principales (Hossé, 1980); (Porada, 1989) ci-après:

La première phase D1 est marquée par une schistosité S1 associée à la formation des plis dans le domaine intermédiaire et par le développement des chevauchements, des plis isoclinaux et des zones de cisaillement (top NE) dans le domaine interne;

La phase D2 est marquée par le replissement coaxial des structures D1 dans le domaine interne et, dans le domaine intermédiaire, une schistosité de crénulation bien marquée s'y développe associée à des plis droits parfois à vergence SW. Une troisième phase de déformation de direction NE-SW marquée par une schistosité de crénulation S3 replissant la schistosité de crénulation S2 est signalée dans le socle de Guéna au Congo (Boudzoumou, 1986) Les âges obtenus par (Cahen, Snelling, Delhal, & Vail, 1984) dans la chaîne ont permis de situer la phase D1 autour de 734 Ma et celle-ci a été interprétée comme une réhomogénéisation des anciennes unités, tandis que la phase D2 est située entre 625 Ma et 536±25 Ma (Porada, 1989).

L'histoire métamorphique dans la chaîne Ouest-Congo se résume comme suit: faible métamorphisme dans le domaine externe (anchizone), faciès des schistes verts dans le domaine intermédiaire et faciès des amphibolites dans le domaine interne. Une estimation des conditions P-T du métamorphisme a été faite dans le domaine interne de la chaîne par (Franssen & André, 1988), donnant des températures et des pressions variant respectivement entre 550-600°C à 0.2-0.3 GPa. Les données géochronologiques récentes situent le paroxysme du système Araçuaí-Ouest Congo (AWACO) autour de 550 Ma (Tack L., et al., 2010) marquant quasiment la limite entre le Néoprotérozoïque et le Paléozoïque estimée à 542 Ma. L'évolution concordante

des événements orogéniques en Amérique latine ainsi qu'en Afrique Centrale (côte Atlantique) est proposée dans le tableau ci-dessous

**Tableau 3. Orognèses concordantes entre la branche Est Américaine et celle Ouest-Congo (Kasereka & Masanda, 2019)**

Système Araçuai-West Congo		
Côte Est Américaine	Côte Ouest Africaine	Périodes géologiques
Orogénèse Brasiliano	Orogénèse Pan-Africaine	Néoprotérozoïque
Orogénèse Trans-Amazonienne	Orogenèse Eburnéenne	Paléoprotérozoïque
Craton Sao Francisco	Craton du Congo	Archéen

### 3 ETUDE ANALYTIQUE DU TERRAIN

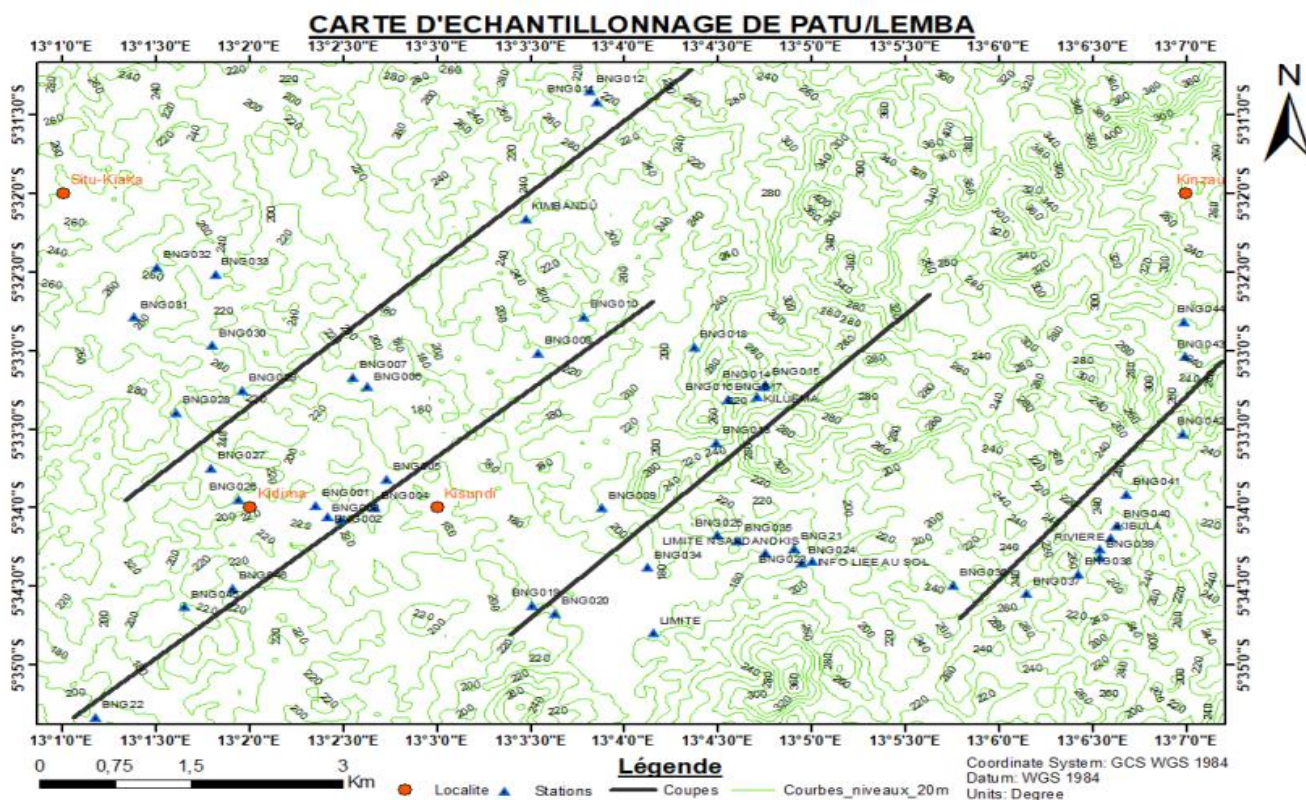
#### 3.1 PRESENTATION DES DONNEES DE TERRAIN

Le tableau ci-dessous reprend le numéro d'ordre de chaque station d'observation et les coordonnées géographiques dont la latitude, la longitude et l'altitude.

**Tableau 4. Résumé des différentes stations d'échantillonnage**

Station	Longitude (E)	Latitude (S)	Altitude (m)
BNG001	13°2'21,1452" E	5°33'58,9932" S	194
BNG002	13°2'24,8748" E	5°34'3,4752" S	190
BNG003	13°2'29,1876" E	5°34'4,5516" S	190
BNG004	13°2'40,0308" E	5°33'59,9940" S	190
BNG005	13°2'44,0232" E	5°33'49,0608" S	172
BNG006	13°2'37,7664" E	5°33'13,4640" S	173
BNG007	13°2'32,9172" E	5°33'10,0440" S	178
BNG008	13°3'32,3100" E	5°33'0,7200" S	173
BNG009	13°3'52,7976" E	5°34'0,0120" S	188
BNG010	13°3'47,2932" E	5°32'46,9896" S	183
BNG011	13°3'51,4548" E	5°31'24,7224" S	211
BNG012	13°3'48,9132" E	5°31'20,6148" S	218
BNG013	13°4'29,4384" E	5°33'35,1972" S	191
BNG014	13°4'44,8968" E	5°33'13,7124" S	200
BNG015	13°4'45,5016" E	5°33'12,6576" S	196
BNG016	13°4'33,5460" E	5°33'18,5904" S	202
BNG017	13°4'33,4992" E	5°33'18,6012" S	210
BNG018	13°4'22,4076" E	5°32'58,5456" S	206
BNG019	13°3'30,7152" E	5°34'37,2756" S	168
BNG020	13°3'37,7460" E	5°34'40,3212" S	169
BNG021	13°4'54,5412" E	5°34'15,5604" S	171
BNG022	13°1'10,4988" E	5°35'20,1012" S	294
BNG023	13°4'54,5988" E	5°34'15,5784" S	176
BNG024	13°4'57,0540" E	5°34'20,9532" S	186
BNG025	13°4'30,0432" E	5°34'10,4664" S	215
BNG026	13°1'56,4780" E	5°33'56,7000" S	158
BNG027	13°1'47,7300" E	5°33'44,7120" S	204
BNG028	13°1'36,2100" E	5°33'23,5656" S	217
BNG029	13°1'57,7488" E	5°33'14,9760" S	200

BNG030	13°1'47,8848" E	5°32'57,8112" S	214
BNG031	13°1'22,8648" E	5°32'47,0364" S	229
BNG032	13°1'30,1908" E	5°32'28,0824" S	251
BNG033	13°1'48,9000" E	5°32'30,7824" S	234
BNG034	13°4'7,5216" E	5°34'22,6920" S	162
BNG035	13°4'36,3864" E	5°34'12,6300" S	184
BNG036	13°5'45,5460" E	5°34'29,5104" S	197
BNG037	13°6'8,8920" E	5°34'32,7072" S	242
BNG038	13°6'25,7328" E	5°34'25,1760" S	220
BNG039	13°6'32,6160" E	5°34'18,6276" S	202
BNG040	13°6'37,9800" E	5°34'6,9600" S	207
BNG041	13°6'41,1480" E	5°33'54,7380" S	228
BNG042	13°6'59,0364" E	5°33'31,7340" S	254
BNG043	13°7'0,0660" E	5°33'2,1132" S	221
BNG044	13°6'59,5224" E	5°32'48,8436" S	224
BNG045	13°1'39,2340" E	5°34'37,8156" S	210
BNG046	13°1'54,3972" E	5°34'30,7236" S	207



*Fig. 4. Carte de localisation des stations d'observations et d'échantillonnages*

Elle Constitue notre minute de terrain, car elle reprend l'ensemble de nos stations d'observation ainsi que les tracés de coupes de terrain.

## 4 ANALYSES STRUCTURALES

### 4.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre sera essentiellement basé sur le traitement de données statistiques structurales planaires à l'aide des histogrammes de fréquence construits à partir d'Excel, puis la reconstruction des paléodéformations en employant le logiciel Win-Tensor (Delvaux, D. & Sperner, B., 2003) tel que révisé en 2012. Les résultats seront présentés sous format de canevas stéréographiques, Win-Tensor permettra également la détermination des orientations préférentielles de la schistosité et des cassures ainsi que l'identification d'éventuelles organisations de cassures et l'estimation des contraintes dynamique et cisailantes ayant joués dans la région afin de définir le régime tectonique, de même que la structure géologique du terrain. Plusieurs échelles nous ont intéressés lors de cette analyse structurale des données. Et pour mieux comprendre la géométrie, la cinématique et la dynamique relatives aux structures.

Deux types d'éléments structuraux seront mis en évidence dans le tableau IV. Rapportant les données de schistosité et cassure ayant été prélevées dans la zone d'étude. IV.2. EMPREINTES TECONIQUES

1. Echelle mésoscopique Les empreintes tectoniques à l'échelle mésoscopique consistent en des éléments structuraux de diverses natures, observables à l'échelle de l'affleurement. Nous avons pu observer sur terrain des marques des micro plissements, des filons de quartz, la schistosité, stratification, boudinage, des cassures.
2. Echelle microscopique Les observations microscopiques équivalent aux indications de déformations vues à l'échelle des affleurements. Il est à remarquer que les minéraux sont orientés suivant des directions préférentielles déterminant ainsi plusieurs directions, parfois la schistosité est microplissée (crénulation), etc.



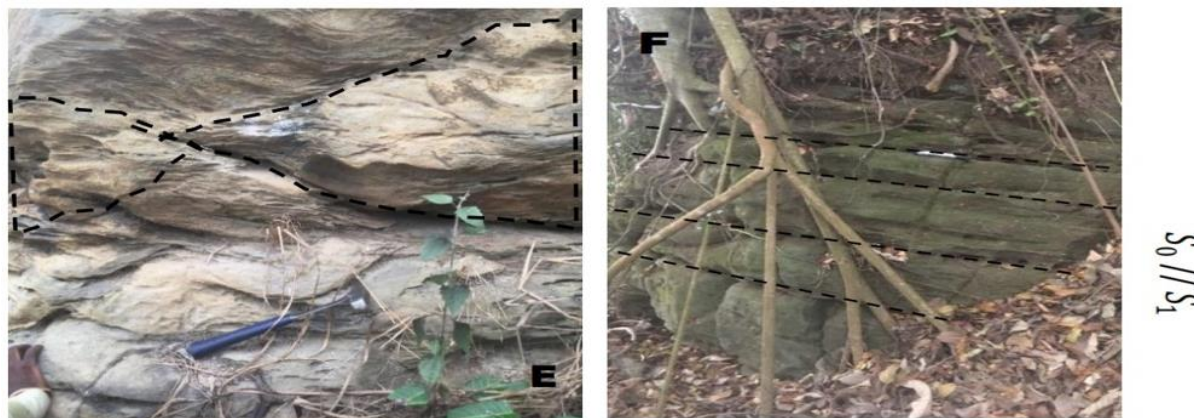


Tableau 5. Données structurales

N° STATION	SCHISTOSITE	STRATIFICATION	CASSURE	BOUDINAGE
BNG001	N71°/45°NW: foliation N20°/38°WNW		N182°/88°WNW N108°/88°NNE	
BNG005			N78°/82°NW	
BNG006	N70°/42°NW		N154°/62°NE N166°/70°NE N156°/64°NE N160°/67°NE	
BNG016	N186°/83°WNW : foliation			
BNG018			N158°/66°NE ; N153°/63°NE ; N150°/62°NE	
BNG22		N106°/74°NNE		
BNG025	N134°/74°SW			N178°/70°NW :
BNG026	N40°/58°NW : foliation			
BNG034			N140°/72°NE N70°/88°NW N147°/75°NE N36°/44°NW	
BNG035			N66°/45°NW	
BNG039	N160°/74°SW : schistosité		N15°/30°WNW N25°/38°NW N172°/72°NE N166°/70°NE	
BNG041			N178°/86°NE N117°/32°NE N177°/84°NE	

## 5 ANALYSES STATISTIQUES

### 5.1.1 SCHISTOSITÉ

La schistosité est une structure planaire caractérisant les roches qui se clivent facilement en feuillets plus ou moins épais à plans régulièrement espacés, sous l'influence des contraintes tectoniques. Elle peut également être définie comme étant une structure mécanique avec des plans de débit préférentiel de la roche, elle constitue un feuilletage tel que tous les feuillets aient la même composition, sans qu'ils aient un rapport défini avec la stratigraphie. Elle se développe lorsque la déformation a dépassé un certain seuil. Pendant les travaux de terrains, les mesures de schistosité ont été prélevées sur des Gneiss,

Amphibolites, Amphiboloschistes et des chloritoschistes. Partant du traitement à l'aide du logiciel Win Tensor des mesures prélevées, il a été observé que les directions des plans de schistosité de la zone se répartissent ENE-WSW, NW-SE et NNE-SSW, avec des pendages dans un intervalle de 40° à 90° (Figure 5).

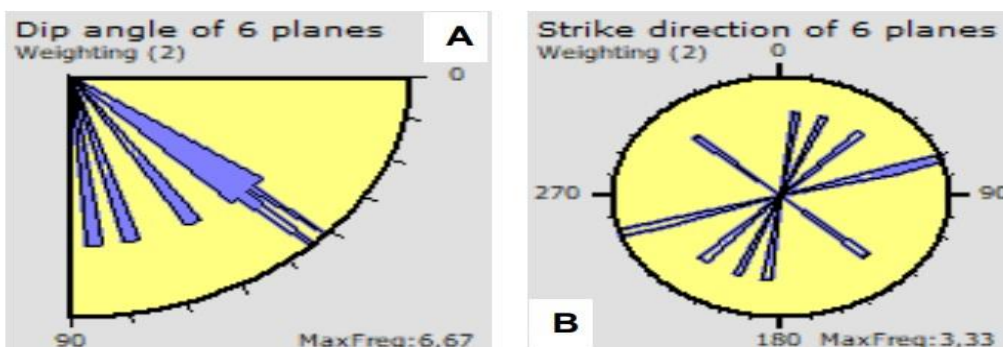


Fig. 5. La rosace des fréquences représentant la classe modale de pendage des plans de schistosité; (B) La rosace montrant l'orientation préférentielle des plans de schistosité

### 5.1.2 DÉFORMATION DISCONTINUE (FAILLES, FRACTURES, FILONS)

Il s'agit des déformations cassantes d'origine tectonique, pouvant être remplies (filons) ou non, aux pendages sub-verticaux à verticaux et se présentant soit en réseaux subparallèles à parallèles, équidistantes de quelques centimètres à mètres parfois. Certaines fractures s'entrecroisent et peuvent montrer des décrochements soit dextres, soit senestres. Dans le cadre de cette étude, nous avons recolté vingt et une mesures d'orientation des plans des déformations cassantes. Ces mesures ont été soumises à une analyse statistique afin d'en déduire la distribution des valeurs (Tableau 6). De même, un histogramme a été exécuté pour faciliter l'étude de la répartition des fréquences (Figure 6).

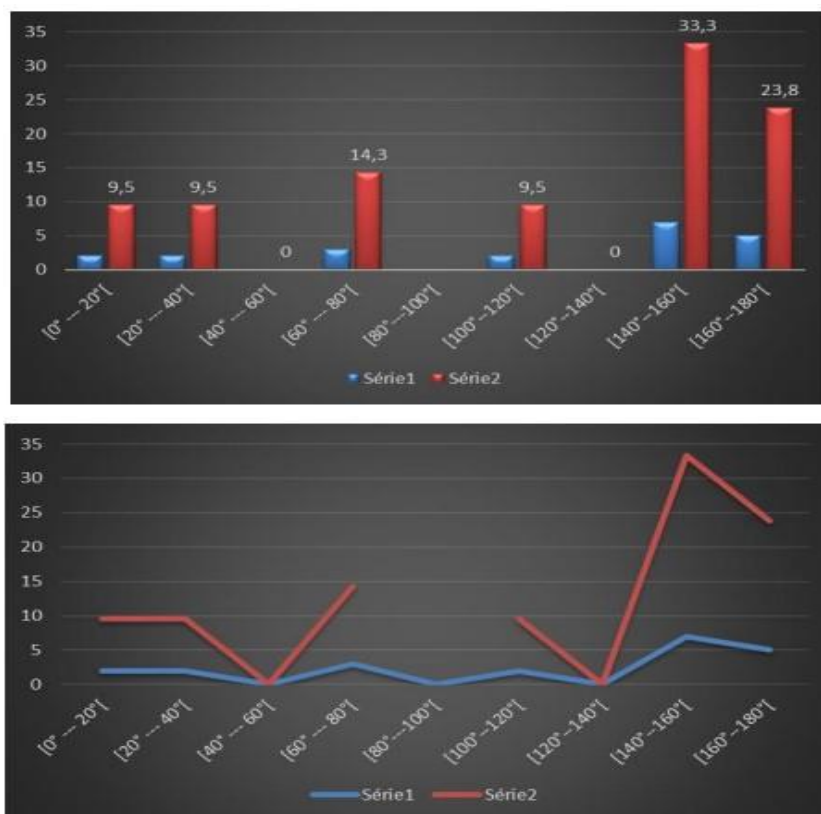


Fig. 6. Histogramme bimodal des fréquences des directions des plans de cassures (fractures, failles et filons)

Tableau 6. Fréquences des directions des plans de cassures

Classes	Nombre	%
[0° --- 20°[	2	9,5
[20° --- 40°[	2	9,5
[40° --- 60°[	0	0
[60° --- 80°[	3	14,3
[80° --- 100°[	0	
[100° --- 120°[	2	9,5
[120° --- 140°[	0	0
[140° ---160°[	7	33,3
[160° --- 180°[	5	23,8
Σ	21	

Ces histogrammes renseignent sur les trois familles de cassures identifiées dans la zone, indiquées par trois pics réparties en intervalles.

Le premier intervalle comprend les valeurs situées entre 140° et 170°.

Le deuxième intervalle comprend les valeurs situées entre 60° et 80°.

Le troisième intervalle comprend les valeurs situées entre 100° et 120°.

#### a) Diagramme d'orientation des rosaces de fréquences

Les données structurales des cassures, telles que traitées à l'aide du logiciel Win Tensor indiquent trois familles d'orientation suivantes:

Une famille de cassures subméridiennes reprenant des cassures dirigées NNW-SSE, voire NNE-SSW.

Une famille de cassures ENE-WSW. Page | 59

Et une autre famille de cassures orthogonale à la précédente dirigée WNW-ENE.

Les cyclogrammes montrent que les cassures de la zone sont caractérisées par des pendages majoritairement très forts, situés pour la plupart des cas dans l'intervalle entre 60° et 90° (Figure 7).

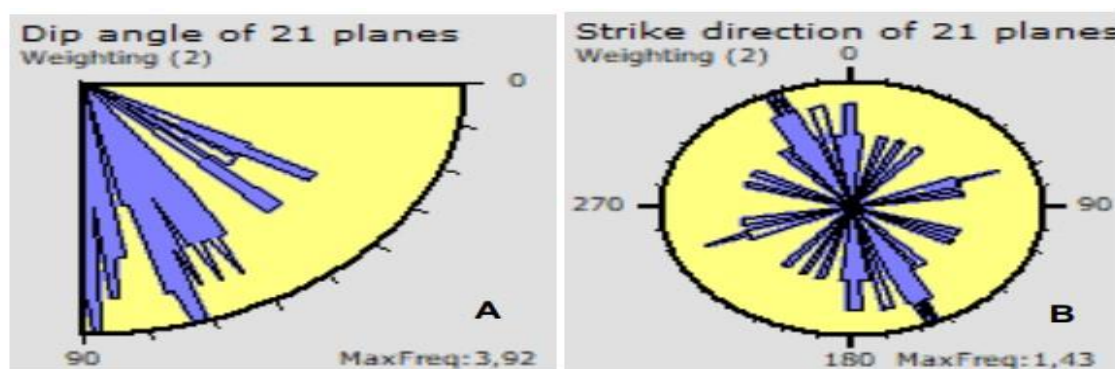


Fig. 7. (A) La rosace des fréquences représentant la classe modale de pendage des plans de cassures; (B) La rosace montrant l'orientation préférentielle des plans de cassures

#### b) Tenseurs des contraintes

Les tenseurs des contraintes sont une représentation utilisée en mécanique des milieux continus pour caractériser l'état des contraintes, c'est-à-dire les efforts internes mis en jeu entre les portions déformées du milieu. Le terme a été introduit par Cauchy vers 1822. Comme les efforts internes sont définis pour chaque surface coupant le milieu (on parle d'ailleurs également

d'efforts surfaciques), le tenseur est défini localement, en chaque point du solide. L'état des contraintes du solide est donc représenté par un champ tensoriel. On parle aussi, de ce fait, de champ des contraintes. Dans le cadre de la géologie structurale et de la tectonique, on parle fréquemment de tenseur de paléo-contraintes. Il représente la partie anisotrope du tenseur des contraintes, responsable des déformations comme les plis, les failles ou les schistosités. La valeur absolue des termes de la matrice n'est pas accessible, mais il est possible de retrouver l'orientation du triaxe principal, ainsi que le rapport d'intensité de ces trois axes.

En outre, Sur base de l'orientation et de la nature des fractures et failles, il est possible de caractériser les contraintes tectoniques au moment de leur formation en utilisant les relations entre contraintes et fracturation, selon les régimes de contraintes tectoniques d'Anderson (Analyse des paléocontraintes ou paléostress). Dans notre cas, l'orientation des contraintes principales ayant entraîné l'activation des fractures de notre secteur d'étude, a été obtenue grâce à la méthode de « rotational optimization of stress tensor » (optimisation rationnelle) du logiciel Win-Tensor (Delvaux, D., 2019). La figure 8. illustre le sens des contraintes qui ont entraîné les déformations observées sur terrain.

Ces tenseurs des contraintes renseignent sur deux faits:

Une compression de direction NNW-SSE marquée par un aplatissement partant de la contrainte maximale  $\delta_1$ .

Et une distension de direction WSW-ENE marquée par un allongement partant de la contrainte minimale  $\delta_3$ .

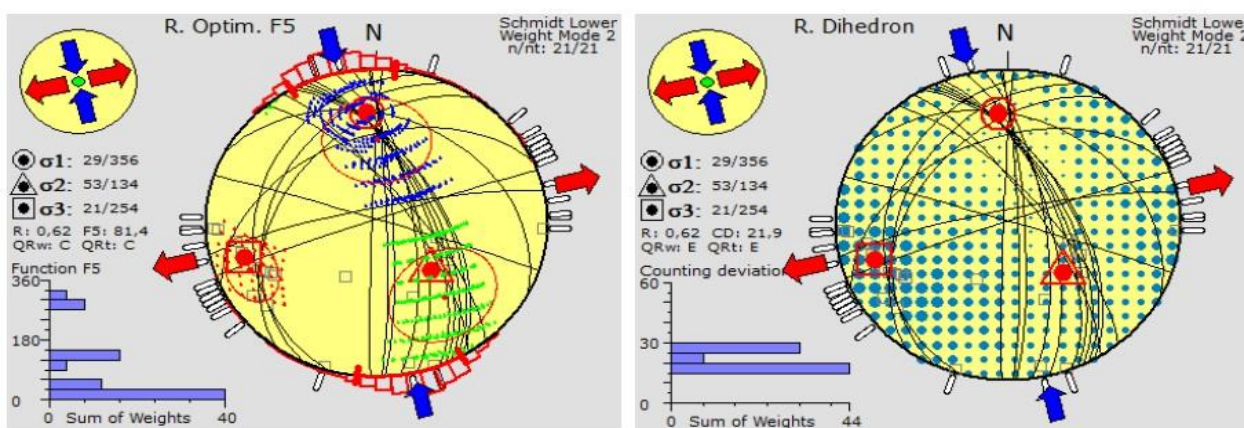


Fig. 8. Tenseur des contraintes

- La contrainte maximale: N355°/65° est orientée NNW-SSE.
- La contrainte intermédiaire: N152°/62° est orientée SSE-NNW.
- La contrainte minimale: N260°/70° es orientée WSW-ENE.
- La magnitude des contraintes (R) vaut 0,62
- L'index de régime tectonique (R') vaut: R'=2,62

L'analyse structurale des cassures rencontrées dans le secteur d'étude montre que certaines de ces cassures sont issues d'une extension (contrainte minimale  $\delta_2$ ) et d'autres résultent d'une compression (contrainte maximale  $\delta_1$ ). Les premières témoignent de la phase de relaxation (détente) ayant fait suite à la phase de compression dont le plissement général dans cette région est observé à grande échelle. D'après Delvaux (2009), les valeurs d'index du régime tectonique comprises entre certains intervalles permettent d'identifier et de contextualiser les efforts régis dans un terrain. Ces différentes valeurs sont:

- Si  $R'=R$ , une valeur comprise dans l'intervalle allant de 0 à 1, ceci équivaut au régime extensif;
- Si  $R'=R$ , une valeur comprise dans l'intervalle allant de 1 à 2, ceci équivaut au régime cisailant;
- Si  $R'=R$ , une valeur comprise dans l'intervalle allant de 2 à 3, ceci équivaut au régime compressif.

La valeur de l'index du régime tectonique obtenu étant de 2,62 et donc dans l'intervalle de 2 à 3, confirme un régime compressif dans la région.

### c) Tenseurs PBT axes

Les tenseurs PBT indique (Figure 9):

- Contrainte maximale qui est horizontale: N000/00
- Contrainte intermédiaire également horizontale: 000 /00
- Contrainte minimale qui a un pendage faible: N228/33
- La magnitude de contrainte qui vaut R=0
- L'index du régime tectonique R'=2

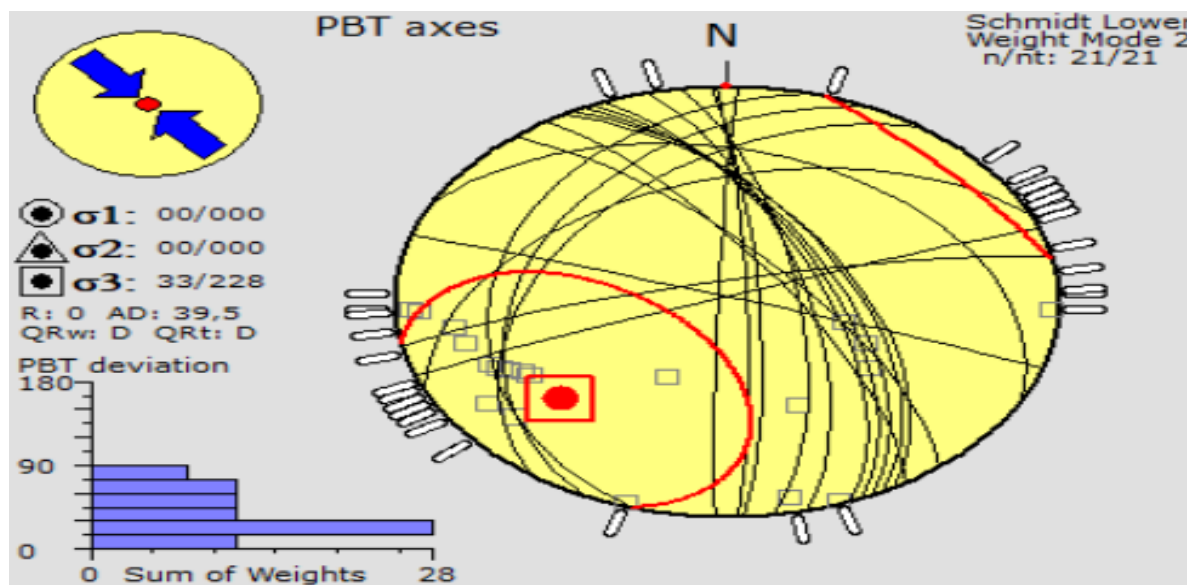


Fig. 9. Tenseurs PBT axes

## 6 INTERPRETATION DES RESULTATS ET CONCLUSION GENERALE

Le traitement des données structurales prélevées dans la zone de Lemba (direction, pendage des plans de cassures et de schistosité) démontre que la zone a été affectée par des contraintes d'origine tectonique. Ces dernières étant responsables des éléments structuraux observés. L'étude analytique faite met en évidence le fait que la zone a été affectée par plusieurs phases de déformation ou orogénèse. C'est une zone polyphasée. Cette analyse statistique avec représentation de la distribution de fractures confirme la présence de trois pics majeurs. Ce qui en fait la preuve irréfutable que la zone ait été affectée par: - Une famille de cassures subméridiennes reprenant des cassures dirigées NNW-SSE. - Une famille de cassures ENE-WSW. - Et une autre famille de cassures orthogonale à la précédente dirigée WNW-ESE.

Les différentes valeurs d'index du régime tectonique (R') obtenues, 2.62 et 2 confirment que la zone d'étude a été soumise à deux types de régime: le régime compressif et le régime cisailant.

Du point de vue tectonique, les études géologiques que nous avons réalisées à Lemba et environs ont permis de caractériser la zone du point de vue tectonique.

Les différentes structures rencontrées et les différentes analyses et descriptions observées à l'échelle mésoscopique, microscopique, ainsi que l'analyse statistique des cassures à l'aide du logiciel Win Tensor confirment que la zone qui, du point de vue tectonique, est polyphasée. L'analyse avec représentation de la distribution a mis en évidence la présence de trois pics majeurs confirmant la présence de trois familles de cassures dans la zone de Lemba: famille dirigée NNW-SSE, famille d'orientation ENE-WSW et enfin famille WNW-ESE. Partant des différents résultats obtenus de R', l'index du régime tectonique (rotational optimization of stress tensor et PBT axes), il découle deux types de régimes tectoniques dans la zone:

Le régime compressif avec  $R' = 2,62$ ; se trouvant dans l'intervalle des valeurs comprises entre 2 à 3;

Le régime cisailant avec  $R' = 2$ ; se trouvant dans l'intervalle des valeurs comprises entre 1 à 2.

## REFERENCES

- [1] Alkimin, F., & Marshak, S. (1998): Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90, 29-58.
- [2] Affaton, P., Kalsbeek, F., Boudzoumou, F., Trompette, R., Thrane, K., & Frei, R. (2016): The Pan-African West Congo belt in the Republic of Congo (Congo Brazaville): Stratigraphy of Mayombe and West Congo Supergroups studied by detrital zircon geochronology. *Precambrian Research*, 272, 185- 202.
- [3] Black, R. (1967): Sur l'ordonnance des chaînes métamorphiques en Afrique. *Chronique des Mines et de la Recherche*, 364, 225-238.
- [4] Boudzoumou, F. (1986): La Chaîne Ouest-congolienne et son avant-pays au Congo: Relation avec le Mayombien, Sédimentologie des séquences d'âge protérozoïque supérieur. (T. 3. cycle, Éd.) Université d'Aix Marseille.
- [5] Boudzoumou, F., & Trompette, R. (1988): La chaîne panafricaine ouestcongolienne au Congo (Afrique Equatoriale): un socle polycyclique charrié sur un domaine subautochtone formé par l'aulacogène du Mayombe et le bassin de l'Ouest-Congo. *Bull. Soc. Géol. France* 8, 889-896.
- [6] Caby, R., Bertrand, J., & Black, R. (1981): Pan-African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, central Sahara. Amsterdam, Elsevier: In Kröner, A. ed, *Precambrian plate tectonics*.
- [7] Cahen, L. (1978): La stratigraphie et la tectonique du Supergroupe OuestCongolien dans les zones médianes et externe de l'orogénèse Panafricain au Bas-Zaïre et dans les régions voisines. MRAC Tervuren, Belgique, p74.
- [8] Cahen, L., Delha, J., & Ledent, D. (1976): Chronologie de l'orogénèse Ouest Congolienne (Panafricaine) et comportement isotopique des roches d'alcalinité différente dans la zone interne de l'orogénèse du Bas-Zaïre. *Ann. Soc. Géol.-Belg.*, 99, 189-203.
- [9] Cahen, L., Snelling, N., Delhal, J., & Vail, J. (1984): *The geochronology and evolution of Africa*. Clarendon Press, 512p.
- [10] Choubert, G., & Faure-Muret, A. (1971): *Tectonique de l'Afrique*. U.N.E.S.C.O, Earth Sciences, 602p.
- [11] Cibambula, C.M.E. (2016): Le sous-groupe de la Mpioka: un flysch de la chaîne panafricaine West Congo dans le Kongo central (R.D. Congo), Thèse de doctorat en sciences géologiques, Faculté des sciences, Dép. Géosc., Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo, 158p.
- [12] Cordani, U. G., Brito-Neves, B. B., & D'Agrella-Filho, M. S. (2003): From Rodinia to Gondwana: a review of the available evidence from South America. *Gondwana Research*, 6, 275-283.
- [13] De Waele, B., Johnson, S., & Pisarevsky, S. (2008): Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the eastern Congo Craton: Its role in the Rodinia puzzle. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.020>.
- [14] De Wit, M. J. (2015): *Geology and resource potential of the Congo Basin*. Springer Science & Business Media.
- [15] Delvaux, D., & Sperner, B. (2003): Stress tensor inversion from fault cinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. In: *New Insights into Structural Interpretation and Modelling* (D. Nieuwland Ed.). (G. Society, Éd.) Special Publications, 212, 75-100.
- [16] Figueiredo, M. (1989): Geochemical evolution of eastern Bahia, Brazil: a probable Early Proterozoic subduction-relation magmatic arc. *Journal of South America Earth Sciences*, 2, 131-145.
- [17] Franssen, L., & André, L. (1988): The Zadinian group (Late Proterozoic, Zaire) and its bearing on the origin of the West-Congo orogenic belt. *Precambrian research*, 38, 215-234.
- [18] Guillou-Frottier, L., Augé, T., & Bertrand, G. (2012): Géodynamique et ressources minérales. *Géosciences*, 15, pp. 22-27.
- [19] Hossié, G. (1980): Contribution à l'étude structurale de la chaîne Ouestcongolienne Pan-Africaine dans le Mayombe congolais. Thèse 3ème cycle, 124p.
- [20] Kanika, M. (2016): Notes de Cours de lever géologique, G3 Géologie (Inédit).
- [21] Kasereka & Masanda: Contribution à l' (étude métamorphique et structurale des environs de Tsumba-Kituti, District du Bas-fleuve (Province du Kongo central), mémoire de fin d'étude en sciences géologiques, Faculté des sciences, Université de Kinshasa.
- [22] Kröner, A., & Stern, A. (2004): Pan-African orogeny. (Elsevier, Éd.) *Encyclopedia of Geology*, 1-12.
- [23] Ledru, P., Johan, V., Milési, J. P., & Tegye, M. (1994): Markers of the last stages of the Palaeoproterozoic collision: evidence for a 2 Ga continent involving circumSouth Atlantic provinces. *Precambrian Research*, 69, 169- 191, 69, 169-191.
- [24] Machado, N., Noce, C. M., Ladeira, E. A., & De Oliveira, O. B. (1992): UPb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 104,1221-1227.
- [25] Mackenzie, W-S., & Guilford, C. (2005). *Atlas de Pétrographie: Minéraux de roches observés en lames minces*. Paris: Dunod.

- [26] Maurin, J., Boudzoumou, F., Djama, L., Gioan, P., Michard, A., MpembaBoni, J., et al. (1991): La chaîne protérozoïque ouest-congolienne et son avant-pays au Congo: nouvelles données géochronologiques et structurales. implications en Afrique Centrale. *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris II*, 312, 1327-1334.
- [27] Meloux, J., Bigot, M., & Viland, J. (1983): Plan minéral de la République populaire du Congo. Bureau de Recherches Géologiques et Minière.
- [28] Mottet, G. (1997). Le Mayombe (Congo): contraintes et aménagements d'une moyenne montagne tropicale. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 3, 329-335.
- [29] Noce, C., Pedrosa-Soares, A., Da Silva, L., Armstrong, R., & Piuzana, D. (2007): Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for BrazilAfrica links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, 159, 60-78.
- [30] Nsungani, P.C. (2012): La chaîne panafricaine du Nord-Ouest de l'Angola: Etude pétrostructurale, géochimique et géochronologique. Implications géodynamiques. Thèse. Thèse, Université Montpellier II, 328.
- [31] Ongendangenda, T. (2004): Signification géodynamique des roches basiques et ultrabasiques du Kongo Central. PICG. –UNESCO, p27–29.
- [32] Pedrosa-Soares, A. C., Alkmim, F. F., Tack, L., Noce, C. M., Babinski, M., Silva, L. C., et al. (2008): Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. *Special Publications*, 294, 153-172.
- [33] Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Vidal, P., Monteiro, R. L., & Leonardos, O. H. (1992): Toward a new tectonic model for the late proterozoic Araçuaí (SE Brazil) West Congolian (SW Africa) belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 6, 3347.
- [34] Porada, H. (1989): Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and eastern Brazil. *Precambrian research*, 44, 103-136.
- [35] Robert, M. (1946). *Le Congo physique*. Liège, 449 p.: Vaillant-Carmanne, 3ème Ed. M.
- [36] Roubault, M., Touret, J., Weisbrod, A., & Fabries, J. (1963): Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. Paris, France: Editions LamarrePoinat.
- [37] Tack, L., Wingate, M., De Waele, B., Meert, J., Belousova, E., Griffin, B., et al. (2010): The 1375 Ma «Kibarian event» in Central Africa: Prominent emplacement of bimodal magmatism under extensional regime. *Precambrian Research*, 180, 63-84.
- [38] Tack, L., Wingate, M., Liégeois, J., Fernandez-Alonso, M., & Deblond, A. (2001): Early Neoproterozoic magmatism (1000-910Ma) of Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinian rifting at the western edge of Congo craton. *Precambrian Research*, 110, 277-306.
- [39] Tait, J., Delpomtdor, F., Prétat, A., Tack, L. S., & Nkula, V. (2011): Neoproterozoic sequences of the West Congo and Lindi. Ubangi supergroups in the Congo craton, Central Africa. *Geological Society, Memoirs*, 36, 185-194.
- [40] Teixeira, W., & Figueiredo, M. C. (1991): An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco craton, Brazil: a review. *Precambrian Research*, 53, 1-22.
- [41] Trompette, R. (1989): Ensilic evolution of the centrifugal Araçuaí West Congo (Zaire) Pan-African belt: role of Middle Proterozoic fracturation., (p. Abstract p116.). Washington.
- [42] Vennetier, P. (1966): *Géographie du Congo-Brazzaville*. Paris: GauthierVillars.
- [43] Unrug, R. (1992): The supercontinent cycle and Gondwanaland assembly: component cratons and the timing of suturing events. *Journal of Geodynamics*, 16, 215-240.
- [44] [www.caid.cd](http://www.caid.cd).

## CONTRIBUTION A L'ETUDE PETROGRAPHIQUE DE LEMBA ET SES ENVIRONS (SECTEUR DE PATU, PROVINCE DU KONGO CENTRAL)

### [ CONTRIBUTION TO THE PETROGRAPHIC STUDY OF LEMBA AND ITS SURROUNDINGS (PATU SECTOR, KONGO CENTRAL PROVINCE) ]

*KAHINDO KATOTO Danielle<sup>1</sup>, DIEMO SERGE<sup>1-2</sup>, NGURU MAHA Esther<sup>3</sup>, BONDO KAZADI Emmanuel<sup>3</sup>, TSASA MABIALA Bibiche<sup>1</sup>, KAZI KATYA Solange<sup>1</sup>, KAZADI MUJINGA Stella<sup>1</sup>, LAKUBU ESAS Patrick<sup>1</sup>, and WEBANA BANAKPO Mireille<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centre National de Télédétection, Kinshasa, State, RD Congo

<sup>2</sup>Département d'Exploration-Production pétrolière, Faculté de Pétrole, Gaz et Energies renouvelables, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

<sup>3</sup>Département des Géosciences, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This petrographic study involves analyzing rocks to understand their mineralogical composition, origin, and characteristics. The regional geological description allowed us to understand its geological history as well as the diversity of its rock formations by identifying and characterizing the different rocks present in the region. Microscopic analysis of thin sections helped us understand the mineralogical composition of our geological formations to gain insight into the geological processes that formed these rocks and their importance in understanding the geological phenomena of the region. In short, the study area includes metamorphic assemblages: gneisses, migmatites, amphibolites, amphiboloschists, chloritoschists, and metaquartzites. They therefore correspond to three metamorphic domains: Epizone, Mesozone, and Catazone.

**KEYWORDS:** Geology, mineralogy, microscopy, mine blade, metamorphism, field.

**RESUME:** Cette étude pétrographique consiste en l'analyse des roches afin de comprendre leur composition minéralogique, leur origine et leurs caractéristiques. La description géologique régionale nous a permis de comprendre son histoire géologique ainsi que la diversité de ses formations rocheuses à partir de l'identification et la caractérisation les différentes roches présentes dans la région. L'analyse microscopique des lames minces (section fine) nous a aidé à connaître la composition minéralogique de nos formations géologiques afin d'avoir une idée sur les processus géologiques qui ont formé ces roches et leur importance dans la compréhension des phénomènes géologiques de la région. En bref, la zone d'étude comprend des ensembles métamorphiques: des gneiss, des migmatites, des amphibolites, des amphiboloschistes, des chloritoschistes et des métaquartzites et ils correspondent donc à trois domaines métamorphiques: Epizone, Mésozone et Catazone.

**MOTS-CLEFS:** Géologie, minéralogie, microscopie, lame mine, métamorphisme, domaine.

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'objectif poursuivi dans cet travail est de cartographier, de caractériser pétrographiquement les formations géologiques de la région de Lemba en vue de reconstituer l'histoire tectono-métamorphique de la zone d'étude. En effet, il sera question de réviser l'histoire pétro-tectonique de la région et d'essayer d'analyser la géodynamique responsable des structures caractérisant ladite région. Ce travail s'assigne aussi comme objectif de situer les lithofaciès par rapport à leurs périodes de mise en place et de bien délimiter les contours géologiques tout en définissant leurs natures fussent-elles régulières (discordance) ou accidentelles (tectonique). Enfin, les résultats obtenus devront permettre de produire une récente carte géologique de Lemba, et de cette manière, ce travail apporte un plus sur les connaissances géologiques de la région-cible.

### 1.2 METHODOLOGIE

Ce travail a pris corps par la symbiose des recherches catégorisées à trois niveaux essentiels, à savoir: l'avant terrain qui consiste en la documentation, le terrain pour effectuer le lever géologique et enfin l'après terrain qui se charge des analyses et de l'interprétation des résultats.

### 1.3 MATERIELS

Tableau 1. Matériels utilisés

Matériels	Marque	Utilité
Boussole de géologue (avec clinomètre)	SYLVA	Mesure de la direction et du pendage des couches et microstructures
Marteau	Marteau de géologue	Casser et prélever les échantillons
Global positioning system (GPS)	GARMIN	Localisation géographique
Appareil photo	IPhone 6S plus 16 Méga pixels	Prise des photos des affleurements et échantillons en vue de leurs illustrations
Feutre	BIC	Marquer les échantillons
Stylo, crayon et gomme	BIC, HB crayon	Prise des notes et croquis
Carnet de terrain	Bravo note book (en carton)	Pour la saisie des notes et exécution des croquis
Sac	MARKET	Transport des échantillons
ArcGIS	Version10.3.1.	Traitement des données spatiales
Win-Tensor	Version 5.8.9. (Damien Delvaux et F. Vollmer)	Réalisation des stéréogrammes Caractéristiques des paléo contraintes et des régimes tectoniques
Microscope polarisant	OPTIKA : monoculaire, de grossissement X4	Description de la roche à l'échelle microscopique
Excel et Word	Microsoft office	Traitement statistique des données et rédaction

## 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 2.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

#### 2.1.1 LOCALISATION DU TERRAIN

La cité de Lemba est localisée dans le territoire de Lukula qui comprend plusieurs groupements dont Kisundi, Kibula-Tshandanda..., et fait partie du District de Bas-fleuve en Province du Kongo-central. Notre zone d'étude couvre l'espace allant de 13° 1' 00" à 13° 7' 00" (longitude E), et de 5° 31' 30" à 5° 35' 00" (latitude S) (Figure I. 1).

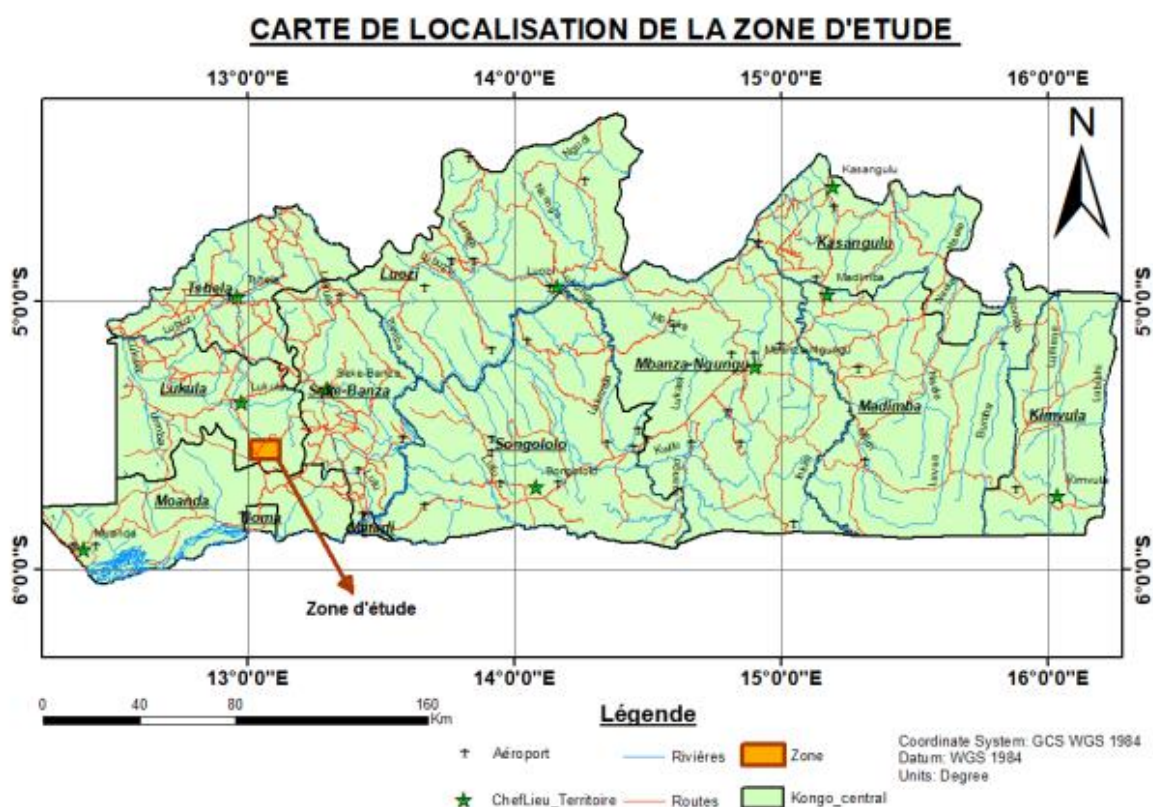


Fig. 1. Localisation du secteur d'étude sur la carte administrative du Kongo-Central

## 2.1.2 CLIMAT, SOLS ET VÉGÉTATION

### - Le Climat

Dans le territoire de Lukula, le climat est du type Tropical avec alternance des saisons, une saison pluvieuse allant du mois d'Octobre au mois de Mai et l'autre sèche intervient principalement à mi-mai jusqu'au 15 Octobre (www.caid.cd). Vers la fin du mois d'Août, il s'observe, toute la journée, un déferlement des brouillards humides qu'on appelle localement neige.

### - Le sol

Le sol de Lemba est de nature argileuse: beaucoup plus rougeâtre, et quelque peu brunâtre.

### - La végétation

Notre zone d'étude est composée des savanes et de la forêt de Mayumbe, dans le territoire de Lukula, où elle prédomine. La présence de la réserve de la Luki dans notre secteur d'étude témoigne que ce dernier est majoritairement de grande couverture végétale.

## 2.1.3 MORPHOLOGIE ET HYDROGRAPHIE







Le secteur de Patu, notre zone d'étude, présente un relief de plateaux, alors que son hydrographie est dominée par des petits cours d'eaux longeant quelques vallées.

## 2.2 CADRE GEOLOGIQUE

### 2.2.1 STRATIGRAPHIE

La stratigraphie du Kongo-central est résumé dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Résumé les informations relatives à la stratigraphie de la Province du Kongo-Centrale

Temps Géologique	Super groupes	groupes	Sous-Groupes et faciès présents		
Phanérozoïques		Groupe KALAHARI	SABLES OCRES		540Ma
			GRES POLYMORPHES INKISI : Arkoses conglomératiques, Psammitique et parfois à grains fins		
Néo protérozoïques	OUEST CONGO	Groupe OUEST CONGOLIEN	S/Grpe MPIOKA	Grès, shales, quartzites, siltites	Pan-Africain
			S/Grpe SCHISTO-CALCAIRE	<b>NGANDU</b> : calcaires, shales et grès <b>BANGU</b> : calcaires, dolomites, oolites et pseudo oolites de KISANTU, calcaires dolomitiques <b>LUKUNGA</b> : shales et calcaires, dolomies, calcaires, dolomitiques <b>KWILU</b> : dolomies rose et grise, calcaires de BULU, calcaires et shales	
			S/Grpe HAUT-SHILOANGO	 Diamictite sup. 635Ma : para conglomérat et grès conglomératique Calcaires, shales gris sombre, grès calcareux de LUANZA calcaires, et shales intercalés de LUANZA	
			S/Grpe SANSIKWA	 Diamictite inf. 730Ma : paraconel avec basaltes inter stratifiés Quartzites, quartzites à talc, argilites	
		Groupe MAYOMBIEN	Phyllade, séricitoschistes intrudés par les massifs granites de lufu-Matava, rhyolites schistifiées d'inga Sikila/autrement métarhyolites <b>Lufu</b> 		
Groupe ZANIDIEN	Talcshistes, chloritoschistes, micaschistes, seritoschistes, métaquartzites de MATADI, filons doléritiques (ONGENDANGENDA, 2004) ; (TACK, 2001) ; Metabasaltes intrudés par le granites de Noqui, syenite de Mpozo  <b>Noqui</b>  <b>Cangilla</b>  <b>Palabala</b>				
Méso protérozoïque					1000Ma
Paléoproterozoïque					1600Ma
	KIMEZIEN	Socle KIMEZIEN : Migmatiques et Gneiss affleurant à BOMA			Eburnéen

 **Magmatisme acide**  
 **Magmatisme basique**

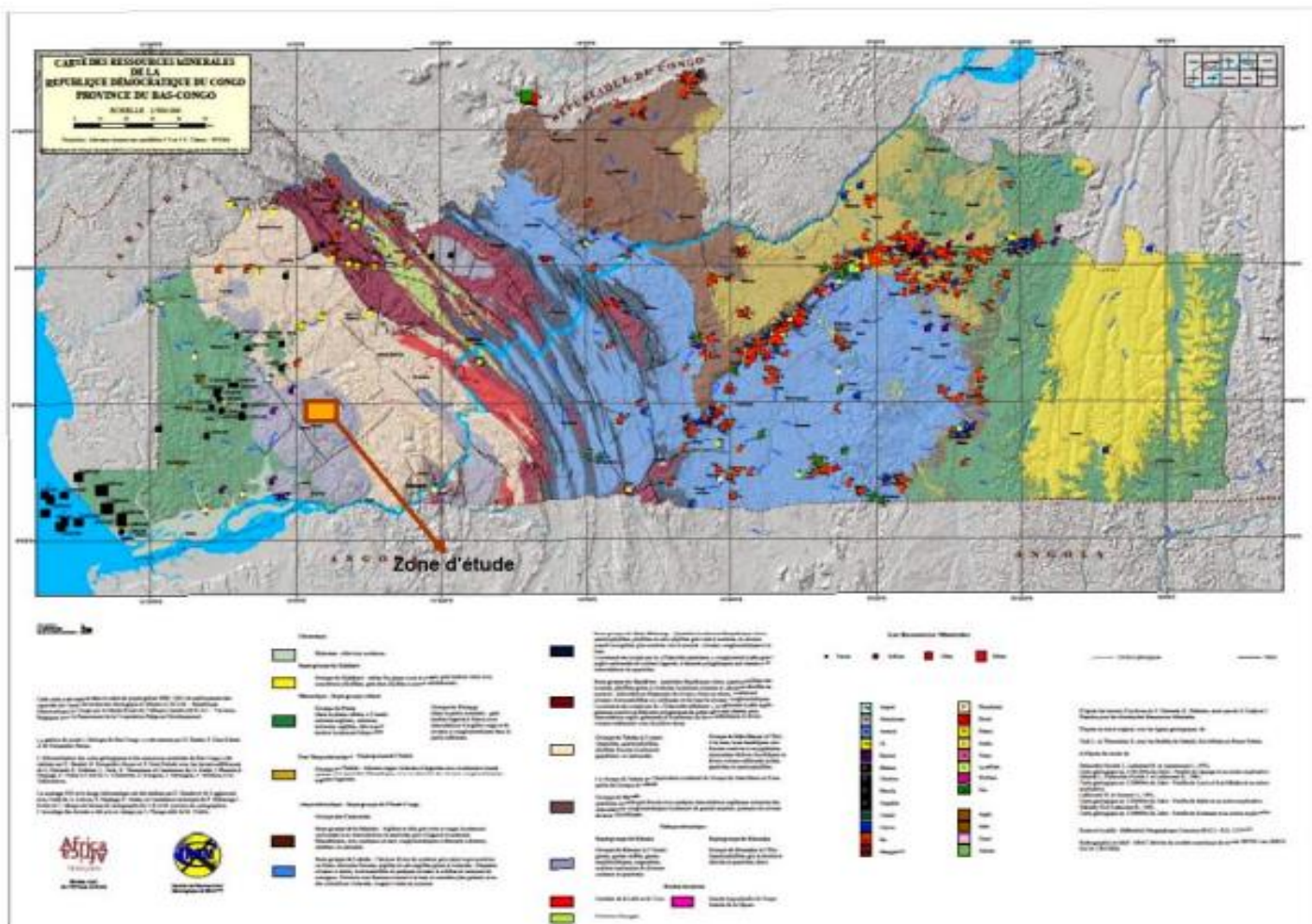


Fig. 2. Indication de notre zone d'étude sur la carte géologique du Kongo central, exécutée en 2013 par la coopération CRGM-MRAC/Echelle 1/500.000

### 2.2.2 TECTONIQUE AU KONGO-CENTRAL

. Dans les limites du territoire de la République Démocratique du Congo, les trois principales orogénèses mentionnées ci-dessous ont joué autour du Craton du Congo, progressivement du Paléoprotérozoïque au Néoprotérozoïque:

L'orogénèse Eburnéenne (Tadilienne): affleure dans la partie occidentale du craton et son âge remonte au Paléoprotérozoïque; - L'orogénèse Kibarienne: celle-ci affleure dans la partie orientale du craton et a été datée au Mésoprotérozoïque;

L'orogénèse Panafricaine: d'âge Néoprotérozoïque, celle-ci est localisée à l'Ouest du craton du Congo. Notons que deux de ces trois orogénèses, à savoir l'éburnéen et le panafricain, sont réputées avoir joué dans la région comprenant notre zone d'étude, c'est-à-dire la partie occidentale du craton du Congo. Pour bien cerner le niveau de leur implication dans la structure générale actuelle des formations géologiques du Kongo-Central, nous décrivons succinctement ci-dessous lesdites orogénèses puis nous proposons les éléments de connaissances essentiels sur la chaîne Ouest-Congo:

#### A. L'orogénèse Eburnéenne

C'est un événement orogénique qui a joué au Paléoprotérozoïque et dont l'activité, à l'échelle du globe, est située entre 1.8 et 2.1 Ga.

En République Démocratique du Congo, les terrains éburnéens ont été identifiés dans la partie Sud-Ouest du Kongo-central (autour de la ville de Boma) sous le nom du Supergroupe Kimézien. L'orogénèse éburnéenne a affecté les terrains archéens et paléoprotérozoïques et se caractérise çà et là par un métamorphisme de haut grade (granulites) ainsi qu'un important volume de plutonisme (Figueiredo, 1989; Teixeira & Figueiredo, 1991; Machado, et al., 1992; Ledru, et al., 1994). Il s'agirait d'une chaîne développée de suite du remaniement de son substratum archéen associé à un important magmatisme. En Amérique, elle a pour équivalent l'orogénèse transamazonienne. Dans le but de reconstituer le contexte géodynamique de cette orogénèse, comme pour la plupart des chaînes précambriennes, plusieurs hypothèses ont été émises. En effet, les données structurales, pétrologiques et géochimiques ont permis de définir l'orogénèse éburnéenne, au même titre que son équivalent américain, comme une chaîne à double vergence résultant de la collision frontale entre les cratons du Congo et de Sao Francisco. Sa direction principale est NW-SE.

## **B. L'orogénèse Panafricaine**

Selon la description faite par (Unrug, 1992), la dynamique fin-précambrienne est marquée, à l'échelle du globe, par la dislocation de Rodinia (Mésoproterozoïque) et la formation de Gondwana (Néoproterozoïque-Cambrien) suivant le cycle de formation et de fragmentation de supercontinents. Le développement d'un important système de rifts continentaux au Néoproterozoïque a conduit à la mise en place de bassins ayant évolué, dans certains cas, en domaines océaniques. La fermeture de ces bassins, à la fin du Néoproterozoïque, a permis le développement de chaînes de montagnes autour des blocs cratoniques précédemment disloqués. Ces événements tectoniques ont été datés et identifiés en Afrique. Le terme « Panafricain » a été proposé par Kennedy en 1964 pour désigner, sur la base de données géochronologiques, l'évènement tectonothermique qui a conduit à la mise en place des chaînes mobiles autour des cratons africains vers 500 Ma (Kröner & Stern, 2004). Depuis lors, ce concept a été étendu à l'échelle du Gondwana.

De ce fait, tel que défini par Cordani, et al. (2003), l'orogénèse panafricaine ou le cycle panafricain se définit comme un ensemble de chaînes résultant de la convergence de plusieurs blocs continentaux ayant conduit à la constitution du Gondwana à la fin du Néoproterozoïque et au début du Paléozoïque. En Amérique du sud, le Brasiliano 0.7-0.45 Ga, (Alkimi & Marshak, 1998) est l'équivalent du Panafricain. Sur les marges brésiliennes et africaines, l'orogénèse brasiliano-pan-africaine se définit comme une chaîne de montagnes résultant de la collision vers 600 Ma (Franssen & André, 1988; Trompette, 1989; Maurin, et al., 1991; Pedrosa-Soares, et al., 1992; Pedrosa-Soares, et al., 2008) des deux plaques continentales suite à la fermeture des domaines océaniques qui les séparaient jadis. Dans la partie africaine, spécifiquement à la bordure du craton du Congo, se sont développées les chaînes des Damarides entre 550 Ma et 520 Ma (Kröner & Stern, 2004), de Kaoko entre 650 Ma et 550 Ma (Kröner & Stern, 2004), des Oubanguides autour de 620 Ma (Kröner & Stern, 2004) et la chaîne Ouest-Congo entre 560-480 Ma (Nsungani, 2012).

D'un point de vue structural, les unités panafricaines s'orientent suivant des bandes méridionales (ceinture du Mozambique, chaîne transaharienne, la chaîne Ouest-Congo) et des segments orientés E-W (Oubanguides, Damarides) témoignant ainsi d'une variation des directions de raccourcissement suivant les régions. L'impact qu'a eu le cycle panafricain sur les terrains préexistants a fait l'objet de diverses interprétations. Ainsi, quelques auteurs (Choubert & FaureMuret, 1971) ont considéré l'évènement panafricain comme un simple rajeunissement des formations anciennes. Par contre (Black, 1967; Caby, et al., 1981), quant à eux, l'ont décrit comme une véritable tectonogénèse avec une réactivation des anciennes structures.

## **C. La chaîne Ouest-Congo**

Localisée sur la marge occidentale du craton du Congo, la chaîne OuestCongo (Figure 1. 3, B), large d'environ 150 à 300 km, s'étend sur près de 1400 km subparallèlement à la côte atlantique entre 1° et 12° Sud (Tack, et al., 2001). Elle affleure depuis le Sud-ouest du Gabon jusqu'au Nord-ouest de l'Angola en passant par la République du Congo et la République Démocratique du Congo. Particulièrement en RDC, elle s'étend de Boma à Mbanza-Ngungu et ces deux points limites marquent respectivement ses contacts avec le socle polycyclique Kimezien remontant de l'Eburnéen (2,1 Ga) à l'Ouest et des roches post-panafricaines à l'Est.

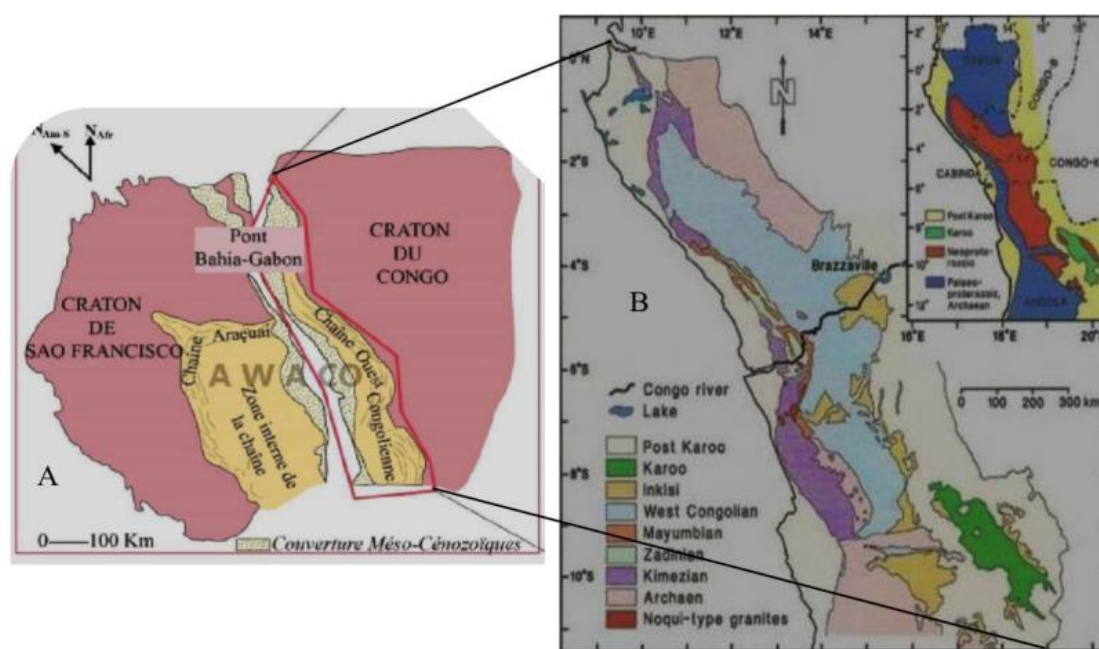


Fig. 3. (A) Carte géologique de la portion du Gondwana occidental mettant en évidence les contours du système AWACO (modifiée selon Pedrosa-Soares et Alkimin, 2011); (B) Carte géologique de la Chaîne Ouest-Congo

La chaîne Ouest-Congo est définie comme une chaîne résultant de la collision entre le craton du Congo à l'Est et le craton de Sao Francisco à l'Ouest lors de la formation du Gondwana occidental durant l'orogénèse Brasiliro/Panafricaine (Tack, et al., 2001; Noces, et al. 2007; Nsungani, P.C., 2012). La collision entre les deux blocs continentaux s'est faite suite à la fermeture du domaine océanique (Océan Adamastor) qui les séparait pendant la dislocation de Rodinia (Tack L., et al., 2010). Cette acception a été démontrée partant des corrélations pétrologiques, géochronologiques et géophysiques qui confirment, tout compte fait, l'évidence que le craton Sao Francisco, sur la marge sud-américaine au Brésil, constitue l'extrémité occidentale la chaîne Ouest-Congo fait partie du système orogénique Araçuaí-West Congo Orogen (AWACO) (Pedrosa-Soares, et al., 2008; Tack, et al., 2010; Tait, et al., 2011) (Figure 1.3). Les travaux menés en République du Congo ont permis de caractériser la chaîne Ouest-Congo comme étant constituée de formations paléoprotérozoïques (voire archéennes) et néoprotérozoïques, l'ensemble étant déformé au cours du panafricain. La chaîne est globalement orientée NW-SE et présente des plis à vergence Est marqués par le chevauchement des unités paléoprotérozoïques sur les unités néoprotérozoïques. Cette structuration permet de subdiviser la chaîne en trois domaines, de l'Est vers l'Ouest: le domaine externe, le domaine intermédiaire et le domaine interne. La déformation dans la chaîne Ouest-Congo croit de l'Est vers l'Ouest et se caractérise par deux phases principales (Hossié, 1980); (Porada, 1989) ci-après:

La première phase D1 est marquée par une schistosité S1 associée à la formation des plis dans le domaine intermédiaire et par le développement des chevauchements, des plis isoclinaux et des zones de cisaillement (top NE) dans le domaine interne;

La phase D2 est marquée par le replissement coaxial des structures D1 dans le domaine interne et, dans le domaine intermédiaire, une schistosité de crénulation bien marquée s'y développe associée à des plis droits parfois à vergence SW. Une troisième phase de déformation de direction NE-SW marquée par une schistosité de crénulation S3 replissant la schistosité de crénulation S2 est signalée dans le socle de Guéna au Congo (Boudzoumou, 1986) Les âges obtenus par (Cahen, Snelling, Delhal, & Vail, 1984) dans la chaîne ont permis de situer la phase D1 autour de 734 Ma et celle-ci a été interprétée comme une réhomogénéisation des anciennes unités, tandis que la phase D2 est située entre 625 Ma et 536±25 Ma (Porada, 1989).

L'histoire métamorphique dans la chaîne Ouest-Congo se résume comme suit: faible métamorphisme dans le domaine externe (anchizone), faciès des schistes verts dans le domaine intermédiaire et faciès des amphibolites dans le domaine interne. Une estimation des conditions P-T du métamorphisme a été faite dans le domaine interne de la chaîne par (Franssen & André, 1988), donnant des températures et des pressions variant respectivement entre 550-600°C à 0.2-0.3 GPa. Les données géochronologiques récentes situent le paroxysme du système Araçuaí-Ouest Congo (AWACO) autour de 550 Ma (Tack L., et al., 2010) marquant quasiment la limite entre le Néoprotérozoïque et le Paléozoïque estimée à 542 Ma. L'évolution concordante

des événements orogéniques en Amérique latine ainsi qu'en Afrique Centrale (côte Atlantique) est proposée dans le tableau ci-dessous

**Tableau 3. Orogénèses concordantes entre la branche Est Américaine et celle Ouest-Congo (Kasereka & Masanda, 2019)**

Système Araçuaï-West Congo		
Côte Est Américaine	Côte Ouest Africaine	Périodes géologiques
Orogénèse Brasiliano	Orogénèse Pan-Africaine	Néoprotérozoïque
Orogénèse Trans-Amazonienne	Orogenèse Eburnéenne	Paléoprotérozoïque
Craton Sao Francisco	Craton du Congo	Archéen

### 3 ETUDE ANALYTIQUE DU TERRAIN

#### 3.1 PRESENTATION DES DONNEES DE TERRAIN

Le tableau ci-dessous reprend le numéro d'ordre de chaque station d'observation et les coordonnées géographiques dont la latitude, la longitude et l'altitude.

**Tableau 4. Résumé des différentes stations d'échantillonnage**

Station	Longitude (E)	Latitude (S)	Altitude (m)
BNG001	13°2'21,1452" E	5°33'58,9932" S	194
BNG002	13°2'24,8748" E	5°34'3,4752" S	190
BNG003	13°2'29,1876" E	5°34'4,5516" S	190
BNG004	13°2'40,0308" E	5°33'59,9940" S	190
BNG005	13°2'44,0232" E	5°33'49,0608" S	172
BNG006	13°2'37,7664" E	5°33'13,4640" S	173
BNG007	13°2'32,9172" E	5°33'10,0440" S	178
BNG008	13°3'32,3100" E	5°33'0,7200" S	173
BNG009	13°3'52,7976" E	5°34'0,0120" S	188
BNG010	13°3'47,2932" E	5°32'46,9896" S	183
BNG011	13°3'51,4548" E	5°31'24,7224" S	211
BNG012	13°3'48,9132" E	5°31'20,6148" S	218
BNG013	13°4'29,4384" E	5°33'35,1972" S	191
BNG014	13°4'44,8968" E	5°33'13,7124" S	200
BNG015	13°4'45,5016" E	5°33'12,6576" S	196
BNG016	13°4'33,5460" E	5°33'18,5904" S	202
BNG017	13°4'33,4992" E	5°33'18,6012" S	210
BNG018	13°4'22,4076" E	5°32'58,5456" S	206
BNG019	13°3'30,7152" E	5°34'37,2756" S	168
BNG020	13°3'37,7460" E	5°34'40,3212" S	169
BNG021	13°4'54,5412" E	5°34'15,5604" S	171
BNG022	13°1'10,4988" E	5°35'20,1012" S	294
BNG023	13°4'54,5988" E	5°34'15,5784" S	176
BNG024	13°4'57,0540" E	5°34'20,9532" S	186
BNG025	13°4'30,0432" E	5°34'10,4664" S	215
BNG026	13°1'56,4780" E	5°33'56,7000" S	158
BNG027	13°1'47,7300" E	5°33'44,7120" S	204
BNG028	13°1'36,2100" E	5°33'23,5656" S	217
BNG029	13°1'57,7488" E	5°33'14,9760" S	200

BNG030	13°1'47,8848" E	5°32'57,8112" S	214
BNG031	13°1'22,8648" E	5°32'47,0364" S	229
BNG032	13°1'30,1908" E	5°32'28,0824" S	251
BNG033	13°1'48,9000" E	5°32'30,7824" S	234
BNG034	13°4'7,5216" E	5°34'22,6920" S	162
BNG035	13°4'36,3864" E	5°34'12,6300" S	184
BNG036	13°5'45,5460" E	5°34'29,5104" S	197
BNG037	13°6'8,8920" E	5°34'32,7072" S	242
BNG038	13°6'25,7328" E	5°34'25,1760" S	220
BNG039	13°6'32,6160" E	5°34'18,6276" S	202
BNG040	13°6'37,9800" E	5°34'6,9600" S	207
BNG041	13°6'41,1480" E	5°33'54,7380" S	228
BNG042	13°6'59,0364" E	5°33'31,7340" S	254
BNG043	13°7'0,0660" E	5°33'2,1132" S	221
BNG044	13°6'59,5224" E	5°32'48,8436" S	224
BNG045	13°1'39,2340" E	5°34'37,8156" S	210
BNG046	13°1'54,3972" E	5°34'30,7236" S	207

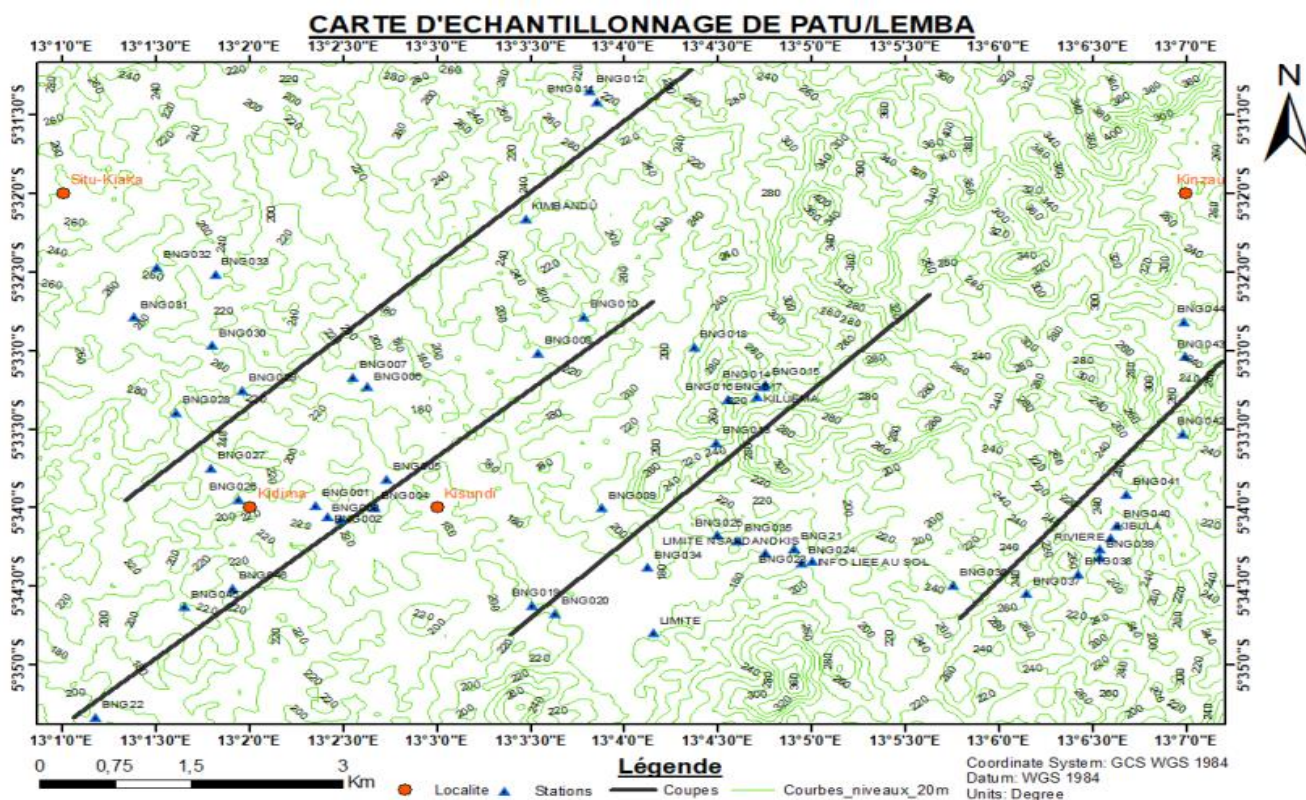


Fig. 4. Carte de localisation des stations d'observations et d'échantillonnages

Elle Constitue notre minute de terrain, car elle reprend l'ensemble de nos stations d'observation ainsi que les tracés de coupes de terrain.

## **4 ANALYSES PETROGRAPHIQUES**

Ce point traitera essentiellement l'aspect macroscopique et microscopique des différentes natures pétrographiques rencontrées sur terrain. L'observation à l'échelle microscopique se fera en deux aspects à savoir l'observation en lumière polarisée non analysée (LPNA) et l'observation en lumière polarisée analysée (LPA).

### **4.1 DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE**

#### **4.1.1 ECHANTILLONS BNG001A**

Analyse macroscopique Roche métamorphique à structure hétérogène formée de deux parties distinctes et présentant une foliation (alternance entre les lits clairs et sombres); à grains visibles; très dure, cassure irrégulière ne suivant pas un plan de débit; d'une coloration rosâtre ayant presque les mêmes caractéristiques que les granites. C'est un gneiss précisément de la migmatite (Photos III. 1) voir annexe.

Description au microscope (LPA et LPNA) La roche présente une texture granoblastique; ses minéraux sont orientés. Il est observé sur la lame mince des cristaux de quartz brillants incolores, automorphes à subautomorphes et réfringents en plus petite quantité que les feldspaths mats; présence du microcline défini par le macle polysynthétique (en tartan), présence des paillettes de micas précisément de la biotite, de clivage unidirectionnel, brune à sombre et pléochroïque. La roche est une Migmatite (Photo III.2) voir annexe.

#### **4.1.2 ECHANTILLONS BNG001B, 002, 004, 006, 012, 014, 034.**

Analyse macroscopique Roche métamorphique à structure hétérogène, marquée par une alternance des lits clairs et sombres (une foliation), très dure et dense, à grains moyennement grossiers et visibles à l'œil nu. La cassure ne suit pas un plan de débit et irrégulière; d'une coloration noirâtre (à cause de la présence des minéraux ferromagnésiens) à rosâtre (Photo III.3) voir annexe.

Description au microscope (LPA et LPNA) Ces roches présentent une texture granoblastique; le phénomène d'extinction roulante est observée au niveau des cristaux de quartz; à grains automorphes à subautomorphes de quartz incolores qui s'alternent aux feldspaths plagioclasiques mats et incolores (BNG001b), d'autre part, on peut y observer des feldspaths qui sont lessivés (BNG002), ainsi que des feldspaths alcalins avec de nombreuses impuretés leur conférant un aspect sale (BNG012). Présence notamment de microclines avec son macle en tartan ou en quadrillage polysynthétique typique. Des minéraux aux contours effilochés, des paillettes de micas bruns à sombres et pléochroïques à clivage unidirectionnel (la biotite), parfois alignées, conférant à la roche une schistosité fruste tel qu'observé sur la lame BNG001b; la chlorite de teinte atténuée, de coloration verdâtre avec une extinction généralement incomplète qui se remarque sur BNG002. On note une triple schistosité dont l'intersection forme un angle inférieur à 90° (BNG012), ainsi que la crénulation (BNG014). La roche est un Gneiss (Photo III.4) voir annexe.

#### **4.1.3 ECHANTILLONS BNG007, 007A, 007B**

Analyse macroscopique Roches métamorphiques à grains moyennement fins; une schistosité définie; présence des micas. La roche se débite en plaquette; la cassure suit un plan de débit, d'une coloration verdâtre. La roche est un peu dense et dure (Photo III.5) voir annexe.

Description au microscope (LPA et LPNA) La roche présente une texture nématoplastique; présence de rares cristaux de quartz réfringents incolores, et des feldspaths mats incolores. Des paillettes de micas au contours effilochés; en l'occurrence de la muscovite ainsi que de la biotite brun sombre pléochroïques. La présence notamment des oxydes (BNG007b) et aussi d'amphiboles, minéral brun verdâtre dont la couleur varie en fonction de l'orientation. Il est remarqué une triple schistosité (BNG007a). La roche est un Amphiboloschiste (Photo III.6) voir annexe.

#### **4.1.4 ECHANTILLON BNG011**

Analyse macroscopique Roche métamorphique à granulométrie moyennement fine, à aspect massif, un peu dense, dure à casser et d'une coloration sombre verdâtre (Photo III. 7) voir annexe.

Description au microscope (LPA et LPNA) La roche présente une texture granoblastique avec de rares cristaux automorphes et subautomorphes de quartz incolores réfringents, des feldspaths (plagioclases) mats incolores. Présence des minéraux sombres; une abondance de minéraux en forme d'aiguille, des paillettes de micas, en l'occurrence de la biotite brune sombre et un peu de chlorite d'une coloration verdâtre qui est pléochroïque; présence d'un minéral incolore à deux directions de clivage ne formant pas un angle droit: une amphibole (Photo III.8) voir annexe.

#### **4.1.5 ECHANTILLON BNG018**

##### **ANALYSE MACROSCOPIQUE**

Roche altérée constituée des grains de quartz, de feldspaths visibles à l'œil nu. La couleur est beige à rosâtre; pas trop dense (Photo III.9) voir annexe.

##### **DESCRIPTION AU MICROSCOPE (LPA ET LPNA)**

La roche présente une texture jointive; les minéraux présentent des craquelures. De nombreux cristaux automorphes de quartz incolores et réfringents qui s'alternent aux cristaux mats et incolores, xénomorphes, lessivés de feldspaths (plagioclases). Il s'y observe le microcline de maclé en tartan et d'un minéral en forme aciculaire restant noir en LPA et LPNA, pouvant être de la biotite: la roche est un Métaquartzite (Photo III.10) voir annexe.

#### **4.1.6 ECHANTILLON BNG020**

##### **ANALYSE MACROSCOPIQUE**

Roche métamorphique à grains fins; une schistosité marquée, avec présence des minéraux clairs en paillettes. La cassure suit un plan de débit. Moins dure, moins dense et très friable, une coloration à tendance blanchâtre a verdâtre (Photo III.11) voir annexe.

##### **DESCRIPTION AU MICROSCOPE (LPA ET LPNA)**

La roche présente une texture granolépidoïdologique; on y observe une extinction roulante des certains minéraux sur la lame; présence des cristaux clairs automorphes et incolores de quartz qui s'alternent aux cristaux mats lessivés et incolores de feldspaths; présence notamment des minéraux aux contours effilochés et pléochroïques, des paillettes de micas exclusivement de la muscovite ainsi que la chlorite. La roche est un Chloritoschiste (Photo III.12) voir annexe.

#### **4.2 CONCLUSION PARTIELLE**

Les résultats obtenus après analyse macroscopique et description au microscopique mettent en évidence les textures granoblastiques, granolépidoïdologiques, nématoblastiques et jointives. Ceci a conduit à comprendre que les roches de notre zone d'étude sont des métamorphites. Ainsi, la zone d'étude comprend les ensembles lithologiques suivants, selon l'ordre chronologique du plus ancien au plus récent:

- Les Migmatites;
- Les Gneiss;
- Les Amphibolites;
- Les Amphiboloscistes;
- Les Chloritochistes;
- Les Métaquartzites.

La corrélation entre les différents faciès rencontrés et leurs stations correspondantes sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 5. Etablissement de la corrélation entre les différents faciès rencontrés et leurs stations correspondantes

N°	Faciès	Lames minces	Stations de prélèvements
1.	Migmatites	BNG 001a BNG001b BNG002	BNG001, BNG002
2.	Gneiss	BNG004 BNG006 BNG012 BNG014 BNG034	BNG003, BNG004, BNG005, BNG006, BNG012 BNG013, BNG014, BNG015, BNG016, BNG017 BNG019, BNG021, BNG026, BNG027, BNG028 BNG029, BNG030, BNG031, BNG032, BNG033, BNG034, BNG036, BNG040, BNG045, BNG046
3.	Amphibolites	BNG011	BNG009, BNG010, BNG011
4.	Amphiboloschistes	BNG007 BNG007a BNG007b	BNG007, BNG008
5.	Chloritoschistes	BNG020	BNG020, BNG022, BNG023, BNG024, BNG025 BNG035, BNG037, BNG038, BNG039, BNG041 BNG042, BNG043, BNG044
6.	Métaquartzites	BNG018	BNG018

Les données analytiques de terrain et de laboratoire débouchent sur la carte géologique du terrain étudié (Figure 6); tandis que les coupes géologiques ayant permis d'établir la stratigraphie de notre zone d'étude sont illustrées par les (Figure 7) à 10.

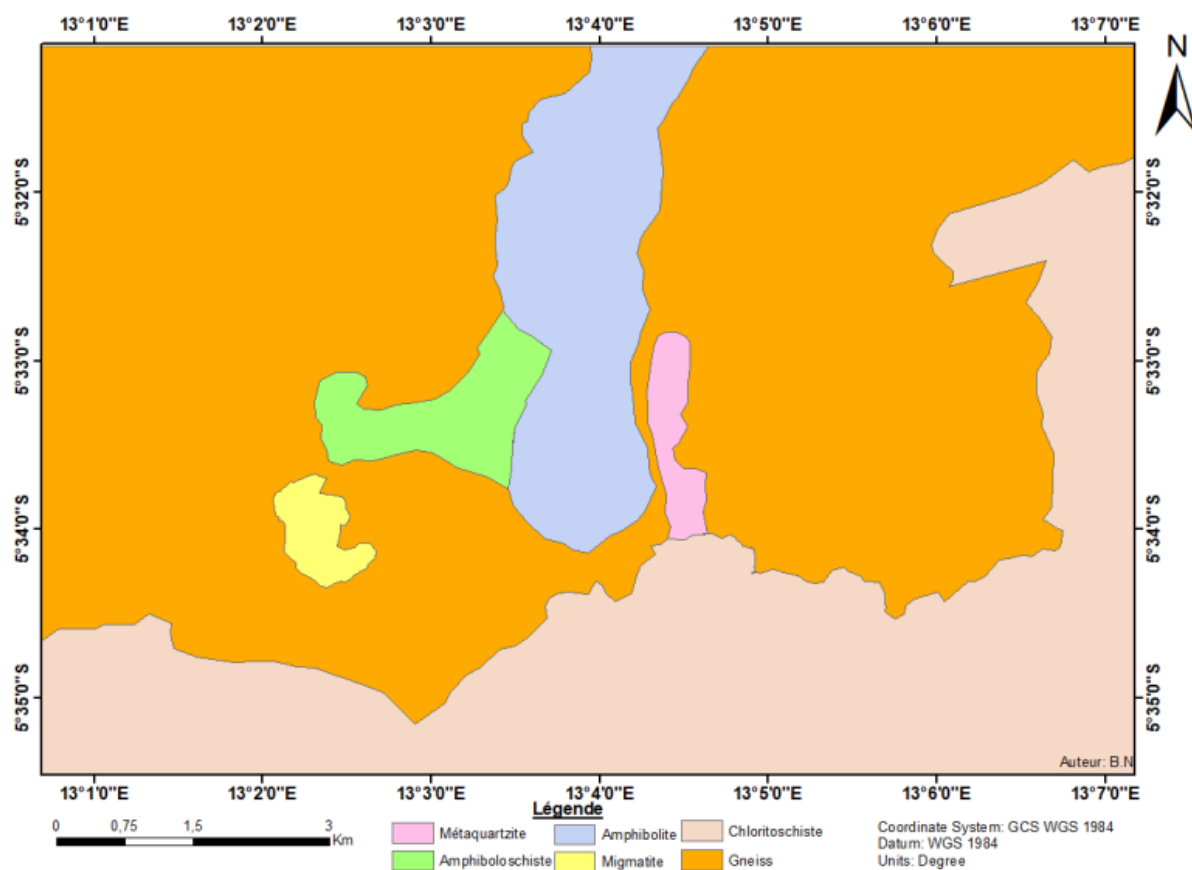


Fig. 5. Carte géologique de Lemba et environs

La coupe 01, d'orientation SW-NE, comprend comme stations: BNG032, BNG033, BNG012, BNG011, BNG031, BNG030, BNG026, BNG027, BNG028, BNG007, BNG006. Et les formations rencontrées sont, de bas en haut: les gneiss, les amphibolites, les amphibolochistes.

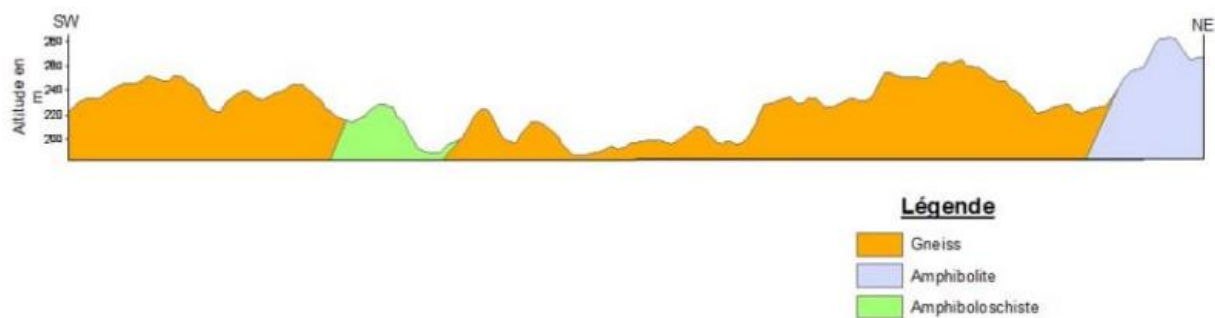


Fig. 6. Coupe SW-NE

La coupe 02, d'orientation SW-NE, contient les stations suivantes: BNG046, BNG001, BNG045, BNG002, BNG004, BNG003, BNG008, BNG010, BNG022. Les formations rencontrées sont, de bas en haut: les migmatites, les gneiss, les amphibolites, les amphibolochistes, les chloritoschistes.

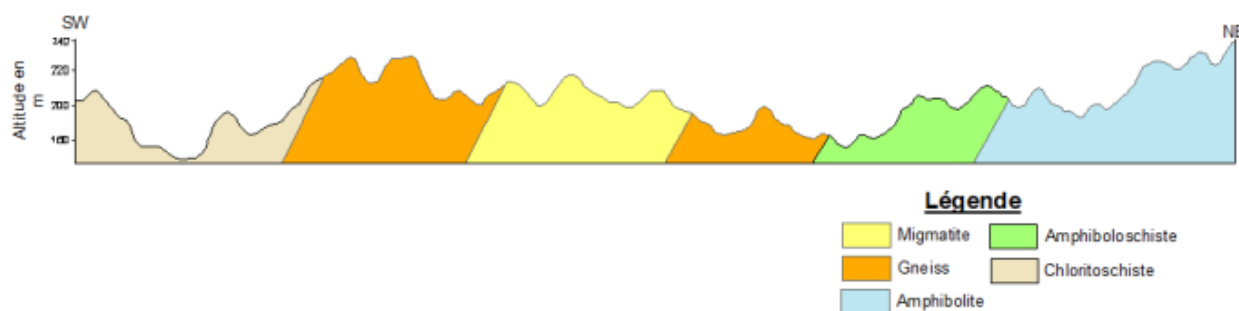


Fig. 7. Coupe SW-NE

La coupe 03, d'orientation SW-NE, comprend les stations suivantes: BNG018, BNG019, BNG020, BNG009, BNG034, BNG014, BNG014, BNG016, BNG026, BNG021, BNG024, BNG015, BNG035. Et les formations rencontrées sont, de bas en haut: les gneiss, les amphibolites, les chloritoschistes, les métaquartzites.

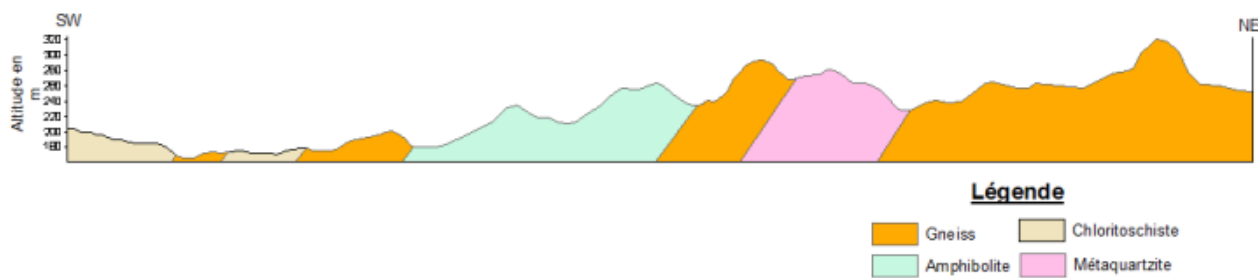


Fig. 8. Coupe SW-NE

La coupe 04, orientée SW-NE, englobe les stations BNG036, BNG037, BNG040, BNG041, BNG042, BNG044, BNG038, BNG039. Les formations recoupées étant de bas en haut: les gneiss et les chloritoschistes.

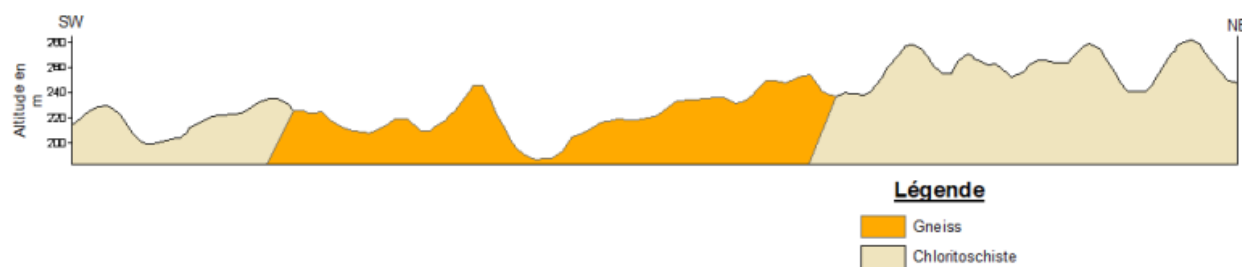


Fig. 9. Coupe SW-NE

Nous proposons subséquentement une succession lithostratigraphique des formations de la zone d'étude, de la plus ancienne à la plus récente (de bas en haut):

- Migmatites;
- Gneiss;
- Amphibolites;
- Amphiboloschistes;
- Chloritochistes;
- Métaquartzites.

Partant des paragenèses mises en évidence dans les lithofaciès rencontrés, il se révèle que notre zone d'étude est situé dans trois faciès métamorphiques principaux à savoir le granulite faciès, l'amphibolite faciès avec rétro-morphose dans le greenschist faciès. Sur ce fait, la diversité des paragenèses avec les associations minérales observées permettent d'établir que la zone d'étude a connu plus d'une phase de métamorphisme (polymétamorphisme).

## 5 INTERPRETATION DES RESULTATS ET CONCLUSION GENERALE

Les études géologiques que nous avons réalisées à Lemba et environs ont permis de caractériser la zone du point de vue pétrographique et lithostratigraphique, cartographique et métamorphique.

### 5.1 DU POINT DE VUE PÉTROGRAPHIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE

Les formations caractérisant la zone d'étude sont des métamorphites attribués au Kimézien. Les litho faciès rencontrés dans la région, selon l'ordre chronologique, de bas en haut, sont:

Les Migmatites;  
Les Gneiss;  
Les Amphibolites;  
Les Amphiboloschistes;  
Les Chloritoschistes;  
Les Métaquarzites.

## 5.2 DU POINT DE VUE CARTOGRAPHIQUE

L'étude réalisée nous a permis de revisiter les limites sur l'ancienne carte des formations du Kimézien et du Phanérozoïque, et de proposer une nouvelle esquisse (carte géologique de Lemba et environs présentée en Figure III.1).

## REFERENCES

- [1] Alkimin, F., & Marshak, S. (1998): Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilatero Ferrifero. *Precambrian Research*, 90, 29-58.
- [2] Affaton, P., Kalsbeek, F., Boudzoumou, F., Trompette, R., Thrane, K., & Frei, R. (2016): The Pan-African West Congo belt in the Republic of Congo (Congo Brazaville): Stratigraphy of Mayombe and West Congo Supergroups studied by detrital zircon geochronology. *Precambrian Research*, 272, 185- 202.
- [3] Black, R. (1967): Sur l'ordonnance des chaînes métamorphiques en Afrique. *Chronique des Mines et de la Recherche*, 364, 225-238.
- [4] Boudzoumou, F. (1986): La Chaîne Ouest-congolienne et son avant-pays au Congo: Relation avec le Mayombien, *Sédimentologie des séquences d'âge protérozoïque supérieur*. (T. 3. cycle, Éd.) Université d'Aix Marseille.
- [5] Boudzoumou, F., & Trompette, R. (1988): La chaîne panafricaine ouestcongolienne au Congo (Afrique Equatoriale): un socle polycyclique charrié sur un domaine subautochtone formé par l'aulacogène du Mayombe et le bassin de l'Ouest-Congo. *Bull. Soc. Géol. France* 8, 889-896.
- [6] Caby, R., Bertrand, J., & Black, R. (1981): Pan-African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, central Sahara. Amsterdam, Elsevier: In Kröner, A. ed, *Precambrian plate tectonics*.
- [7] Cahen, L. (1978): La stratigraphie et la tectonique du Supergroupe OuestCongolien dans les zones médianes et externe de l'orogénèse Panafricain au Bas-Zaïre et dans les régions voisines. MRAC Tervuren, Belgique, p74.
- [8] Cahen, L., Delha, J., & Ledent, D. (1976): Chronologie de l'orogénèse Ouest Congolienne (Panafricaine) et comportement isotopique des roches d'alcalinité différente dans la zone interne de l'orogénèse du Bas-Zaïre. *Ann. Soc. Géol-Belg.*, 99, 189-203.
- [9] Cahen, L., Snelling, N., Delhal, J., & Vail, J. (1984): *The geochronology and evolution of Africa*. Clarendon Press, 512p.
- [10] Choubert, G., & Faure-Muret, A. (1971): *Tectonique de l'Afrique*. U.N.E.S.C.O, Earth Sciences, 602p.
- [11] Cibambula, C.M.E. (2016): Le sous-groupe de la Mpioka: un flysch de la chaîne panafricaine West Congo dans le Kongo central (R.D. Congo), Thèse de doctorat en sciences géologiques, Faculté des sciences, Dép. Géosc., Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo, 158p.
- [12] Cordani, U. G., Brito-Neves, B. B., & D'Agrella-Filho, M. S. (2003): From Rodinia to Gondwana: a review of the available evidence from South America. *Gondwana Research*, 6, 275-283.
- [13] De Waele, B., Johnson, S., & Pisarevsky, S. (2008): Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the eastern Congo Craton: Its role in the Rodinia puzzle. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.020>.
- [14] De Wit, M. J. (2015): *Geology and resource potential of the Congo Basin*. Springer Science & Business Media.
- [15] Delvaux, D., & Sperner, B. (2003): Stress tensor inversion from fault cinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. In: *New Insights into Structural Interpretation and Modelling* (D. Nieuwland Ed.). (G. Society, Éd.) Special Publications, 212, 75-100.
- [16] Figueiredo, M. (1989): Geochemical evolution of eastern Bahia, Brazil: a probable Early Proterozoic subduction-relation magmatic arc. *Journal of South America Earth Sciences*, 2, 131-145.
- [17] Franssen, L., & André, L. (1988): The Zadinian group (Late Proterozoic, Zaire) and its bearing on the origin of the West-Congo orogenic belt. *Precambrian research*, 38, 215-234.
- [18] Guillou-Frottier, L., Augé, T., & Bertrand, G. (2012): Géodynamique et ressources minérales. *Géosciences*, 15, pp. 22-27.
- [19] Hossié, G. (1980): Contribution à l'étude structurale de la chaîne Ouestcongolienne Pan-Africaine dans le Mayombe congolais. Thèse 3ème cycle, 124p.
- [20] Kanika, M. (2016): Notes de Cours de lever géologique, G3 Géologie (Inédit).

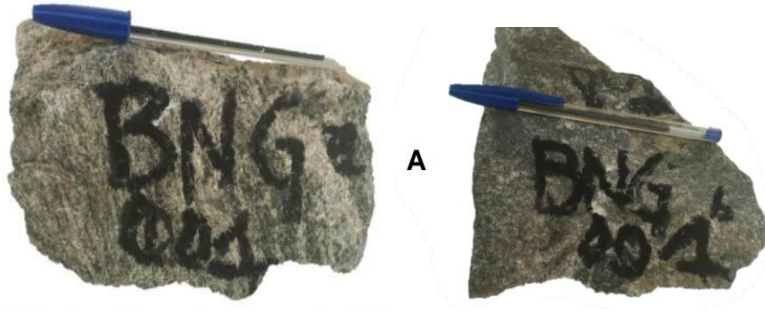
- [21] Kasereka & Masanda: Contribution à l' (étude métamorpique et structurale des environs de Tumba-Kituti, District du Bas-fleuve (Province du Kongo central), mémoire de fin d'étude en sciences géologiques, Faculté des sciences, Université de Kinshasa.
- [22] Kröner, A., & Stern, A. (2004): Pan-African orogeny. (Elsevier, Éd.) Encyclopedia of Geology, 1-12.
- [23] Ledru, P., Johan, V., Milési, J. P., & Tegye, M. (1994): Markers of the last stages of the Palaeoproterozoic collision: evidence for a 2 Ga continent involving circumSouth Atlantic provinces. *Precambrian Research*, 69, 169- 191, 69, 169-191.
- [24] Machado, N., Noce, C. M., Ladeira, E. A., & De Oliveira, O. B. (1992): UPb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 104,1221-1227.
- [25] Mackenzie, W-S., & Guilford, C. (2005). Atlas de Pétrographie: Minéraux de roches observés en lames minces. Paris: Dunod.
- [26] Maurin, J., Boudzoumou, F., Djama, L., Gioan, P., Michard, A., MpembaBoni, J., et al. (1991): La chaîne protérozoïque ouest-congolienne et son avant-pays au Congo: nouvelles données géochronologiques et structurales. implications en Afrique Centrale. *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris II*. 312, 1327-1334.
- [27] Meloux, J., Bigot, M., & Viland, J. (1983): Plan minéral de la République populaire du Congo. Bureau de Recherches Géologiques et Minière.
- [28] Mottet, G. (1997). Le Mayombe (Congo): contraintes et aménagements d'une moyenne montagne tropicale. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 3, 329-335.
- [29] Noce, C., Pedrosa-Soares, A., Da Silva, L., Armstrong, R., & Piuzana, D. (2007): Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for BrazilAfrica links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, 159, 60-78.
- [30] Nsungani, P.C. (2012): La chaine panafricaine du Nord-Ouest de l'Angola: Etude pétrostructurale, géochimique et géochronologique. Implications géodynamiques. Thèse. Thèse, Université Montpellier II, 328.
- [31] Ongendangenda, T. (2004): Signification géodynamique des roches basiques et ultrabasiques du Kongo Central. PICG. -UNESCO, p27-29.
- [32] Pedrosa-Soares, A. C., Alkmim, F. F., Tack, L., Noce, C. M., Babinski, M., Silva, L. C., et al. (2008): Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. *Special Publications*, 294, 153-172.
- [33] Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Vidal, P., Monteiro, R. L., & Leonardos, O. H. (1992): Toward a new tectonic model for the late proterozoic Araçuaí (SE Brazil) West Congolian (SW Africa) belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 6, 3347.
- [34] Porada, H. (1989): Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and eastern Brazil. *Precambrian research*, 44, 103-136.
- [35] Robert, M. (1946). *Le Congo physique*. Liège, 449 p.: Vaillant-Carmanne, 3ème Ed. M.
- [36] Roubault, M., Touret, J., Weisbrod, A., & Fabries, J. (1963): Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. Paris, France: Editions LamarrePoinat.
- [37] Tack, L., Wingate, M., De Waele, B., Meert, J., Belousova, E., Griffin, B., et al. (2010): The 1375 Ma «Kibarian event» in Central Africa: Prominent emplacement of bimodal magmatism under extensional regime. *Precambrian Research*, 180, 63-84.
- [38] Tack, L., Wingate, M., Liégeois, J., Fernandez-Alonso, M., & Deblond, A. (2001): Early Neoproterozoic magmatism (1000-910Ma) of Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinian rifting at the weastern adge of Congo craton. *Precambrian Research*, 110, 277-306.
- [39] Tait, J., Delpomtdor, F., Prétat, A., Tack, L. S., & Nkula, V. (2011): Neoproterozoic sequences of the West Congo and Lindi. Ubangi supergroups in the Congo craton, Central Africa. *Geological Society, Memoirs*, 36, 185-194.
- [40] Teixeira, W., & Figueiredo, M. C. (1991): An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São 350 Francisco craton, Brazil: a review. *Precambrian Research*, 53, 1-22.
- [41] Trompette, R. (1989): Ensialic evolution of the centrifugal Araçuaí West Congo (Zaire) Pan-Africanbelt: role of Middle Proterozoic fracturation., (p. Abstract p116.). Washington.
- [42] Vernetier, P. (1966): *Géographie du Congo-Brazzaville*. Paris: GauthierVillars.
- [43] Unrug, R. (1992): The supercontinent cycle and Gondwanaland assembly: component cratons and the timing of suturing events. *Journal of Geodynamics*, 16, 215-240.
- [44] www.caid.cd.

ANNEXE

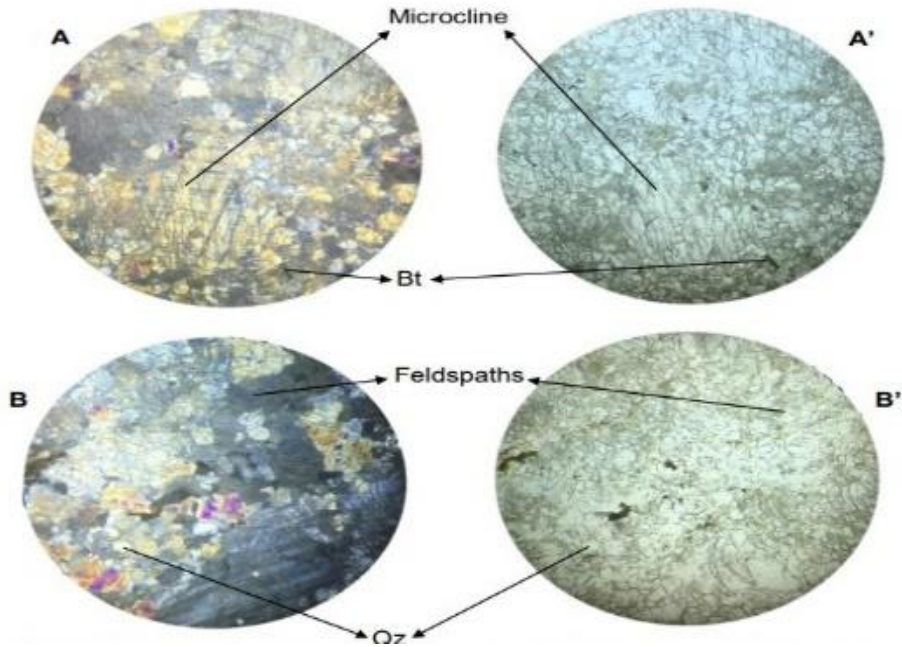
Station : BNG001  
VUE d'affleurement :



Echantillon :



VUE Microscopique :



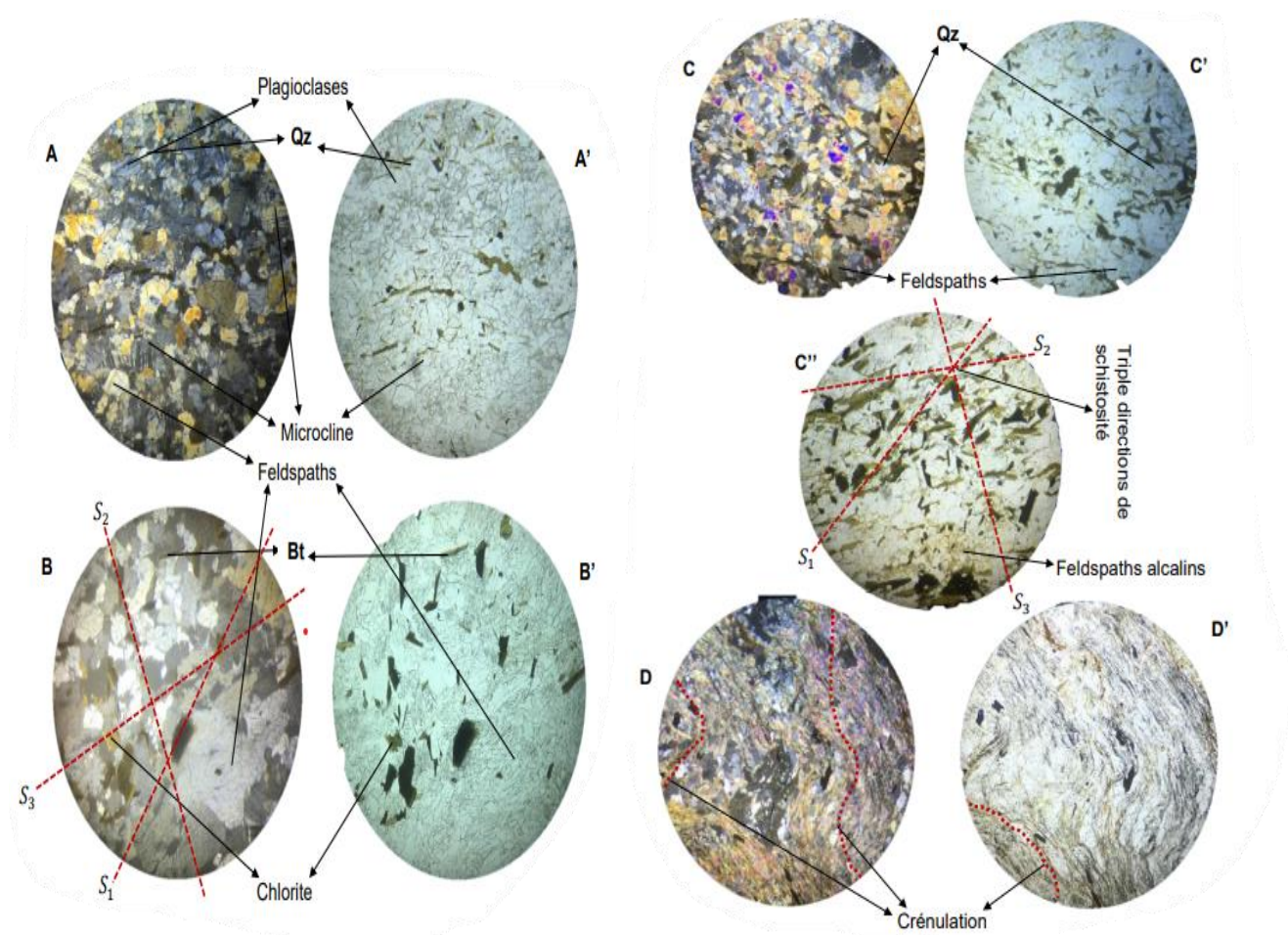
Station : BNG002  
VUE d'affleurement :



Echantillon :



VUE Microscopique :



Station : BNG004

VUE d’affleurement : (VUE Microscopique voir BNG002)



Station : BNG006 (vue macroscopique confère BNG 002)

VUE d'affleurement :

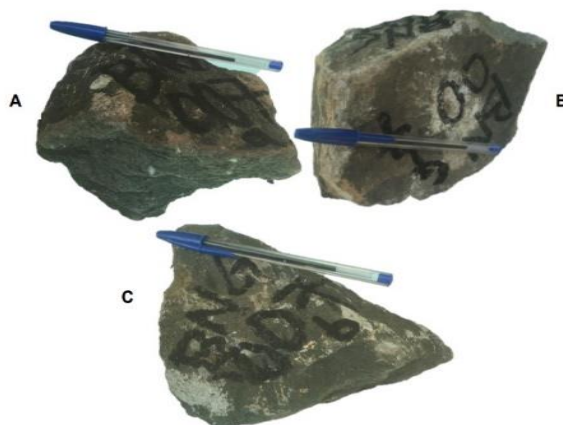


Station : BNG007

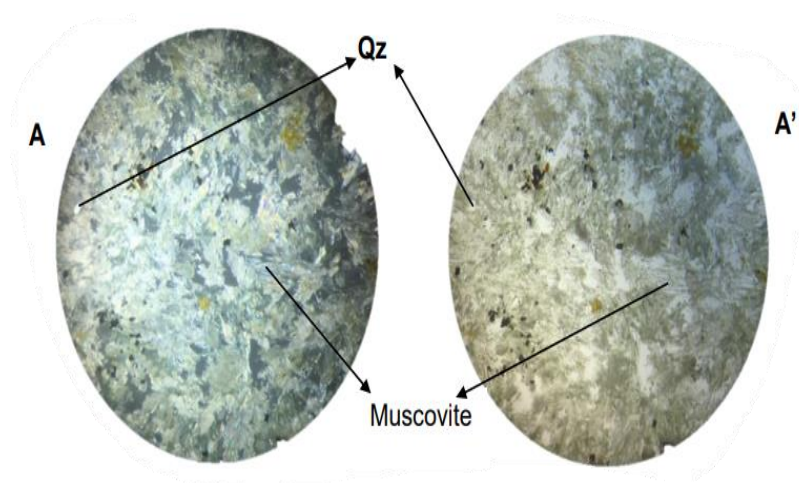
VUE d'affleurement :

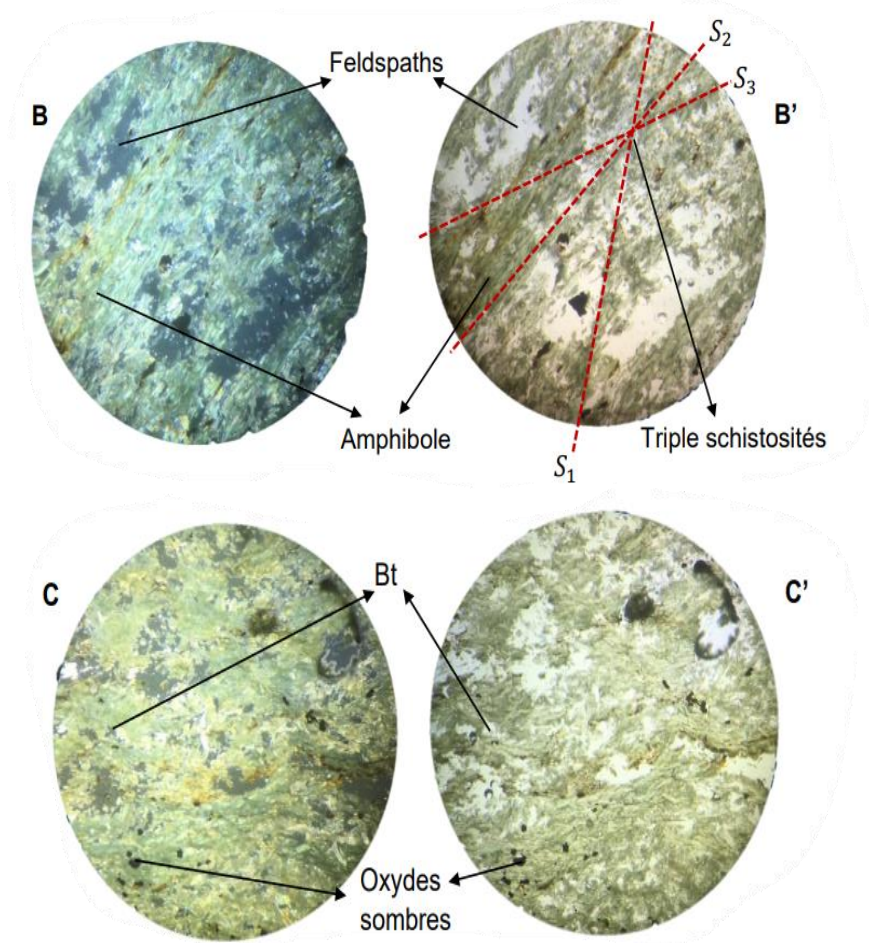


Echantillon :



VUE Microscopique :





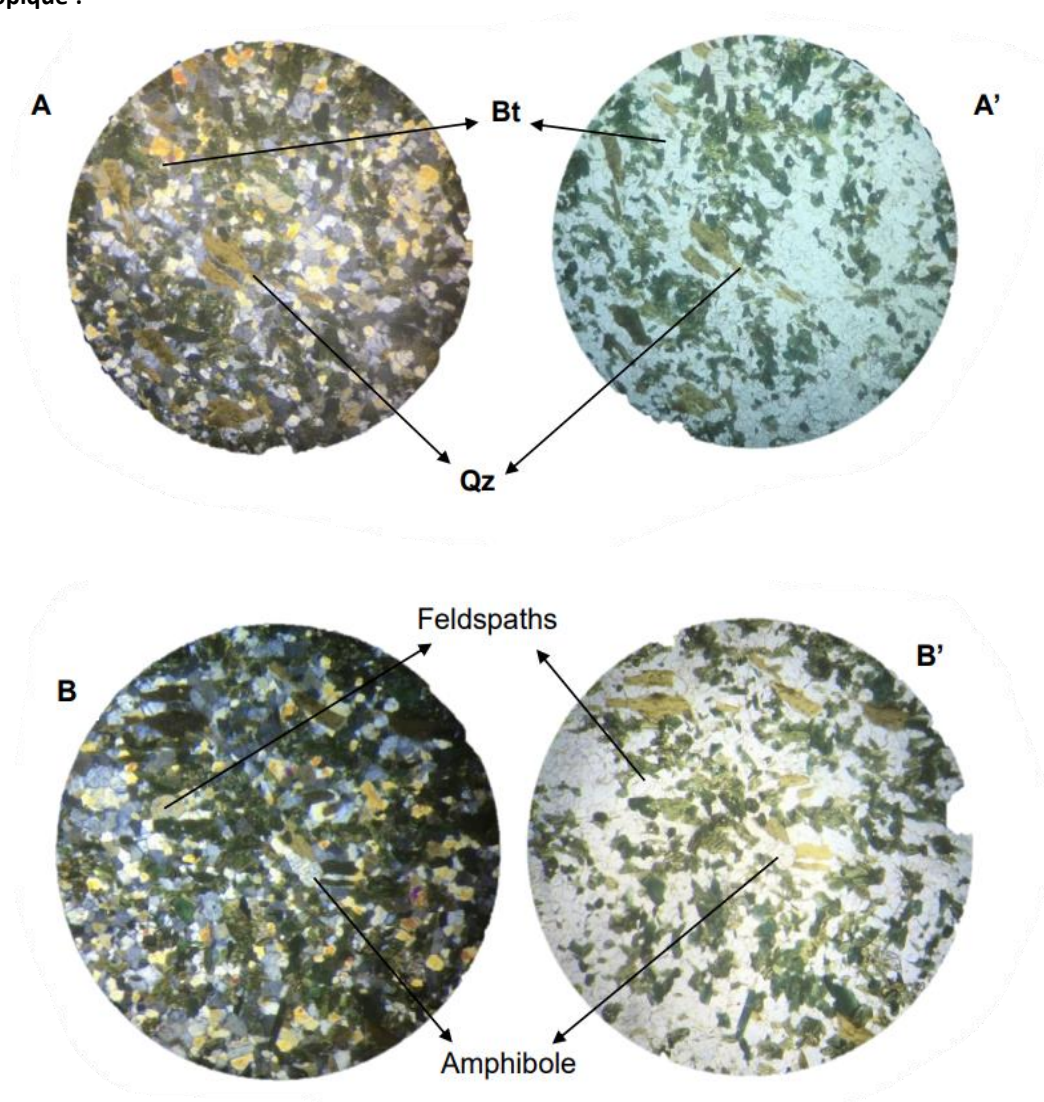
Station : BNG011  
VUE d'affleurement :



Echantillon :



VUE Microscopique :



Station : BNG012 (vue macroscopique confère BNG 002)

VUE d'affleurement :



Echantillon :



Station : BNG014 (vue macroscopique confère BNG 002)

VUE d'affleurement :



Echantillon :



Station : BNG018

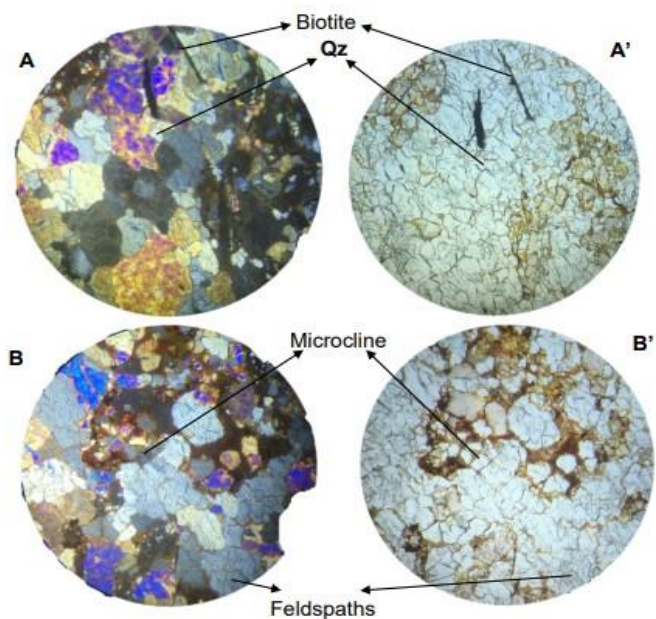
VUE d'affleurement :



Echantillon :



VUE Microscopique :



Station : BNG020

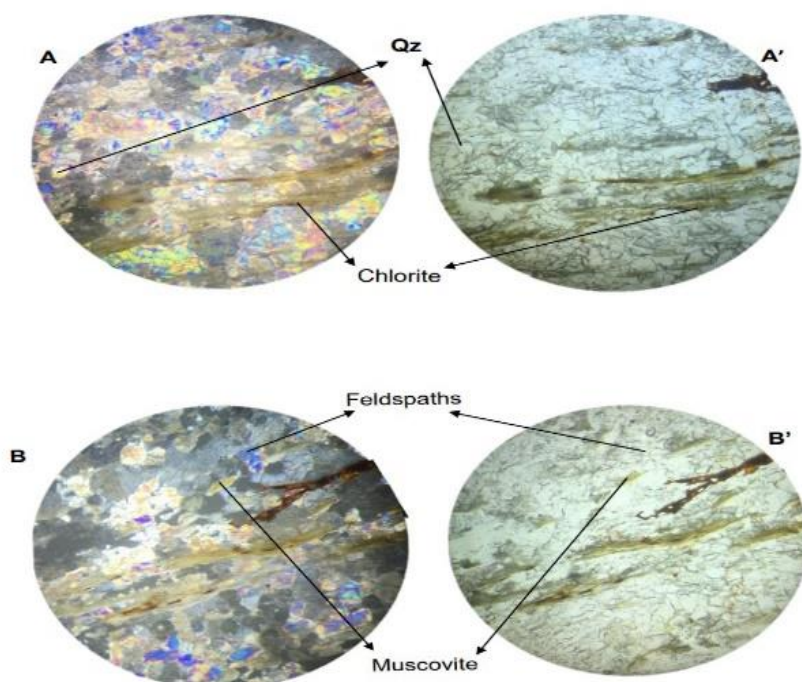
VUE d'affleurement :



Echantillon :



VUE Microscopique :



Station : BNG034

VUE d'affleurement : (vue microscopique voir BNG002)



## الاضطرابات الجسمية والنفسية لدى المسنين نزلاء مؤسسات الرعاية الاجتماعية: دراسة ميدانية بمدينة آسفي وسطات، المغرب

### [ Physical and psychological disorders in elderly people residents of social welfare institutions: Field study in the cities of Safi and Settat, Morocco ]

*Fatima FAOUZI<sup>1</sup>, Mohammed IDMOULID<sup>2</sup>, and Ahmed ELBOUZZAOU<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Student, Psychology Department, Faculty of Arts, Mohammed V University, Rabat, Morocco

<sup>2</sup>College Professor, Psychology Department, Faculty of Arts, Mohammed V University, Rabat, Morocco

<sup>3</sup>College Professor, Psychology Department, Faculty of Arts, Mohammed V University, Rabat, Morocco

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study aims to reveal the physical and psychological disorders suffered by the elderly residing in the social welfare establishment and the gender differences among the study sample consisting of 75 elderly men and women. Two lists were used to collect data, the first one for physical diseases and the second for psychological disorders. The Khi2 test and percentages were used to process on data. The results showed that the study sample was exposed to physical and psychological illnesses, and the difference between the sexes was not statistically significant. These results hold the study two main hypothesis, emphasizing the need for appropriate diagnosis and treatment for both sexes.

**KEYWORDS:** physical disorders, psychological disorders, gender, older adults, social welfare establishment.

**ملخص:** تهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن الاضطرابات الجسمية والنفسية التي يعاني منها المسنون المقيمون بمؤسسة الرعاية الاجتماعية، والفروق بين الجنسين لدى عينة الدراسة المكونة من 75 مسنا ومسننة. تم استخدام قائمتين لجمع المعلومات الأولى خاصة بالاضطرابات الجسمية والثانية خاصة بالاضطرابات النفسية لكل من الذكور والإناث وتم استخدام اختبار كاي khi2 والنسب المئوية لمعالجة المعطيات.

أظهرت النتائج أن عينة الدراسة تعرضت لمجموعة من الاضطرابات الجسمية والنفسية، كما بينت عدم وجود دلالة إحصائية للفروق بين الجنسين وتدعم هذه النتائج الفرضيتين الرئيسيتين للدراسة مما يؤكد الحاجة إلى التشخيص الملائم وتقديم العلاجات والمساعدة لكلا الجنسين.

**كلمات دلالية:** الاضطرابات الجسمية، الاضطرابات النفسية، المسنون، مؤسسة الرعاية الاجتماعية.

#### تقديم

تزايد اهتمام المنتظم الدولي بدراسة الشيخوخة نظرا لارتفاع نسبتها الناتج عن تحسن مستويات الصحة العامة والتقدم الكبير في وسائل الوقاية وعلاج الأمراض والأوبئة. ففي المغرب وحسب الإسقاطات الديمغرافية التي قامت بها المندوبية السامية للتخطيط فإن نسبة المسنين ستبلغ 23.2 بالمائة من مجموع السكان سنة 2050. (HCP, Projections de la population et des ménages 2014-2050, 2017, p. 28)

وقد قدمت السيدة وزيرة التضامن والإدماج الاجتماعي والأمرأة خلال شهر أبريل 2025 بمجلس النواب عرضا حول نتائج الإحصاء العام للسكان والسكنى لسنة 2024 في مجالات الأسرة المغربية تضمن ارتفاع عدد البالغين ستون سنة فما فوق حيث بلغ عددهم 05 ملايين نسمة. مما سيشكل تحديا للدولة فيما يتعلق

بالنفقات خاصة أن نسبة كبيرة منهم ستكون في حاجة إلى علاجات طويلة الأمد، وفي مقابل ذلك عرفت الأسرة التي كانت المحتضن الأول لكبار السن تحولات على مستوى البنية والعلاقات والأدوار سواء بالنسبة للمجتمع القروي أو الحضري. فخروج المرأة للعمل والانفتاح على آفاق جديدة من خلال وسائل التواصل الاجتماعي ساهم في إعادة النظر في مفهوم الأسرة وتوزيع الأدوار داخلها خاصة مع تزايد الانتقال من نمط العيش الجماعي " الأسرة الممتدة " إلى نمط العيش الفردي " الأسرة النووية " مما جعلها تفقد تدريجيا الكثير من مقوماتها الشيء الذي ينعكس أحيانا على فئة كبار السن وعلى المكانة الاجتماعية التي كانوا يحتلونها (إبراهيم، رعاية المسنين: قضايا ومشكلات الرعاية الاجتماعية للفئات الخاصة، 1996، صفحة 61)، حيث أصبحنا أمام ظواهر دخيلة على المجتمع المغربي كالتخلي عن الآباء والأقارب من الدائرة الأولى والذي أصبح معه وجود دور الرعاية الاجتماعية للمسنين ضرورة تفرضها طبيعة العصر الحديث للتكفل بالمسنين الذين لا عائل لهم. من هنا تأتي هذه الدراسة لتبحث في الوضع الصحي والنفسي لهذه الفئة العمرية التي اضطرتها الظروف لقضاء المتبقي من عمرها في مؤسسات الرعاية الاجتماعية.

## إشكالية الدراسة:

الاهتمام بدراسة الشيخوخة بدأ منذ عصر فلاسفة الإغريق فبحث أبو قراط Hippocrate 375-460 ق.م في أمراض الشيخوخة ونصح بالاعتدال في الأكل وبالتمرينات البدنية بهدف التعمير كما وصف العديد من أمراض الشيخوخة مثل المياه الزرقاء وفقدان السمع والتهاب المفاصل والأرق (بشير وخزار، الاضطرابات الجسمية والنفسية لدى المسنين المقيمين بدار العجزة بمدينة باتنة، 2009، صفحة 76).

وقد تزايد هذا الاهتمام في العصر الحالي بسبب ازدياد شيخوخة المجتمعات وتوصلت الدراسات في الموضوع إلى مجموعة من النتائج ومنها دراسة (ريما وبكاش، مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين في دور الرعاية الاجتماعية في مدينتي اللاذقية وطرطوس، 2017) التي خلصت إلى وجود مستوى متوسط من الشعور بالوحدة النفسية لدى أفراد عينة المسنين وعدم وجود فروق دالة إحصائية بين الذكور والإناث، مع وجود فروق دالة إحصائية في مستوى هذا الشعور تبعا لمتغير الحالة الاجتماعية. أما دراسة (Atoumane & El hadji, 2016) وهي عبارة عن خلاصة تركيبة لنتائج ثلاث دراسات أنجزت في السنغال بين سنتي 2008 و2011 على المسنين ومشاكلهم والتحديات التي تواجههم، فقد توصلت إلى أن وضعية كبار السن بالسنغال تأثرت بالتحويلات الاجتماعية والثقافية العميقة التي يعرفها المجتمع السنغالي خاصة زحف المجال الحضري وانعكاساته على مكانة المسن واعتبرت بأن الأسرة هي صمام الأمان بالنسبة لهذه الفئة فيما يتعلق بالتكفل، لكن حاليا مع تفاقم الأزمة الاقتصادية وانتشار البطالة في صفوف الشباب أصبح من الصعب عليها القيام بدورها التضامني خاصة في المجال الحضري الذي تتقاطع فيه المشاكل الصحية للمسنين مع الظروف الاجتماعية والاقتصادية والثقافية.

دراسة (رغداء وبدرة، المساندة الاجتماعية الأسرية وعلاقتها بمستوى الاكتئاب لدى المسنين في دور الرعاية بمحافظة اللاذقية، 2014)، أسفرت نتائجها عن وجود علاقة ارتباطية إيجابية دالة بين درجة المساندة الاجتماعية الأسرية والاكتئاب، ووجود فروق دالة إحصائية بين الذكور والإناث. في حين توصلت دراسة (محمد، واقع حياة المسنين في مؤسسات الرعاية الاجتماعية الحكومية والخاصة في عمان، 2012) إلى اتفاق آراء المسنين على عدم تلقيهم للرعاية الاجتماعية والنفسية والصحية والاقتصادية والترفيهية اللازمة بمؤسسات الرعاية الاجتماعية سواء الحكومية أو الخاصة، وعدم قدرة الإدارة على معالجة مشاكلهم.

أما الدراسة الحالية فنهدف منها إلى تسليط الضوء على الفروق بين الجنسين فيما يتعلق بالمشاكل الجسمية والنفسية للمسنين المقيمين بدور الرعاية الاجتماعية بمدينة آسفي وسطات بالمغرب، ولأجل ذلك تم طرح الأسئلة التالية:

- 1- هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية في الأمراض الجسمية بين الذكور والإناث المقيمين بمؤسسات الرعاية الاجتماعية؟
- 2- هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية في الاضطرابات النفسية بين الذكور والإناث المقيمين بمؤسسات الرعاية الاجتماعية؟

## فرضيات الدراسة:

- 1- نفترض عدم وجود فروق في الأمراض الجسمية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسات الرعاية الاجتماعية.
- 2- نفترض عدم وجود فروق في الاضطرابات النفسية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسات الرعاية الاجتماعية.

## عينة الدراسة:

في إطار هذه الدراسة تم الاعتماد على عينة مكونة من 75 مسنا، منهم 49 ذكور و26 من الإناث تتراوح أعمارهم بين 60 و86 سنة وكلهم مقيمين بمؤسسات الرعاية الاجتماعية بكل من مدينتي سطات وآسفي.

## المفاهيم الإجرائية:

تشير العديد من الأبحاث البيولوجية أن الشيخوخة هي الاضمحلال الجسمي في البناء والوظيفة، وهذه التغيرات تصيب كل الأجهزة الفسيولوجية والعضوية والحركية والهضمية والبولية والتناسلية والعصبية والفكرية. كما يتأثر نظام التحكم في حرارة الجسم وبالتالي تزداد حساسيتهم لبرودة الطقس وحرارته وتقل ساعات النوم وجودتها (إبراهيم، رعاية المسنين، 1997، صفحة 119) ونقصد إجرائيا في هذه الدراسة بهذه التغيرات ما يلي:

- الاضطرابات الجسمية: هي الأمراض المتعارف عليها طبيا والواردة في القائمة المستعملة في الدراسة
- الاضطرابات النفسية: هي الاضطرابات المتعارف عليها نفسيا والواردة في القائمة المستعملة في الدراسة.
- المسنون: الأشخاص المقيمون في مؤسسة الرعاية الاجتماعية بمدينة آسفي بالمغرب الذين تجاوزت أعمارهم الستون عاما.
- مؤسسة الرعاية الاجتماعية: مؤسسة مختصة تتكفل بالأشخاص المسنين بدون عائل ذكورا وإناثا وتقدم لهم خدمات الإيواء والإطعام والعلاجات شبه الطبية والتتبع الاجتماعي.

## منهجية الدراسة وأدواتها:

### منهجية الدراسة:

تم اعتماد المنهج الوصفي بأسلوب المقارنة حيث تجمع بيانات العينة المدروسة ويحصى عدد الأمراض الجسمية والاضطرابات النفسية بالمؤسسات المدروسة ويقارن بين عيني الذكور والإناث.

### أدوات الدراسة:

أعدت الباحثة أداتين لجمع المعلومات الأولى خاصة بالأمراض الجسمية واحدة للذكور وأخرى للإناث وتضم 20 مرضا جسديا وقد استعانت الباحثة بطبيب المؤسسة حيث طلب منه أن يضع أمام كل مرض عدد الأفراد المصابين به. أما الأداة الثانية فمخصصة للاضطرابات النفسية واحدة للذكور وأخرى للإناث وتضم 18 اضطرابا نفسيا وقد تم جمع المعلومات بمساعدة الإحصائية النفسية الخاصة بمؤسسة الرعاية الاجتماعية.

وللإشارة فالقائمتين تضمان خانة (آخر أذكره) للسماح بإضافة كل مرض جسدي أو اضطراب نفسي يعاني منه المقيمون بالمؤسسات ولم تتم الإشارة إليه فيهما.

### أساليب معالجة المعطيات:

من أجل اختبار الفرضيات اعتمدت الدراسة على حساب النسب المئوية وعلى تطبيق اختبار كاي khi2.

### عرض المعطيات الإحصائية وتحليلها:

#### التحقق من الفرضية الأولى:

نفترض عدم وجود فروق في الأمراض الجسمية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسات الرعاية الاجتماعية. سوف نقوم أولا بعرض المعطيات الإحصائية التي تهتم بالتحقق من الفرضية الأولى من خلال حساب النسب المئوية للأمراض الجسمية لكل من الجنسين الموضحة في الجدولين رقم 01 ورقم 02 ثم من خلال حساب معامل كاي khi2 كما هو موضح في الجدول رقم 03.

جدول رقم 01 الخاص بالاضطرابات الجسمية لدى الذكور

المرض الجسدي	تكراره	نسبته المئوية
أمراض العيون: قصر النظر، تعتم العدسة أو غيره	17	22,66 %
ارتفاع ضغط الدم	17	22,66 %
أمراض القلب والأوعية الدموية	11	14,66 %
الشلل أو إعاقة حركية	10	13,33 %
التهاب القصبة الهوائية	9	12 %
ضعف الذاكرة وعدم التركيز	8	10,66 %
أمراض الجهاز البولي	7	9,33 %
الروماتيزم	6	08 %
طريح الفراش	6	08 %
مرض السكري	5	6,66 %
أمراض الأمعاء	5	6,66 %
الضعف العام	5	6,66 %
أمراض الأذن: الصمم أو ثقل السمع أو غيره	3	04 %
التهاب المفاصل وآلام القدمين	3	04 %
الشلل الرعاشي / باركنسون	3	04 %
هشاشة العظام	2	2,66 %
الامراض الجلدية	2	2,66 %
الصرع	1	1,33 %
أمراض الغدد الصماء	0	0 %
التهاب الكبد	0	0 %
المجموع	120	100 %

يتبين من الجدول رقم 01 أن الأمراض الجسمية الأكثر انتشارا لدى الذكور بمؤسسات الرعاية الاجتماعية موضوع الدراسة هي أمراض العيون وارتفاع ضغط الدم وأمراض القلب والاعوية الدموية والإعاقة الحركية والتهاب القصبة الهوائية وضعف الذاكرة وعدم التركيز وأمراض الجهاز البولي مع تسجيل غياب مجموعة من الأمراض من قبيل أمراض الغدد الصماء والتهاب الكبد.

الجدول رقم 02 الخاص بالاضطرابات الجسمية لدى الإناث

المرض الجسمى	تكراره	نسبته المئوية
أمراض العيون/ قصر النظر وتعتم العدسة	12	16 %
ارتفاع ضغط الدم	11	14,66 %
أمراض السكري	7	9,33 %
طريحة الفراش	6	08 %
أمراض القلب والأوعية الدموية	5	6,66 %
ضعف الذاكرة وعدم التركيز	5	6,66 %
الشلل أو إعاقة حركية	4	5,33 %
هشاشة العظام	2	2,66 %
الشلل الرعاشي/باركنسون	2	2,66 %
الروماتيزم	2	2,66 %
أمراض الاذن كالصمم أو ثقل السمع	2	2,66 %
الصرع	1	1,33 %
أمراض الغدد الصماء	1	1,33 %
أمراض الامعاء	1	1,33 %
الضعف العام	1	1,33 %
التهاب المفاصل وآلام القدمين	0	0%
أمراض الجهاز البولي والتناسلي	0	0%
الأمراض الجلدية	0	0%
التهاب الكبد	0	0%
التهاب القصبة الهوائية	0	0%
المجموع	62	100 %

يتبين من الجدول رقم 02 أن الأمراض الجسمية التي تعاني منها الإناث بمؤسسات الرعاية الاجتماعية المدروسة هي أمراض العيون وارتفاع ضغط الدم وأمراض السكري وأمراض القلب والأوعية الدموية وضعف الذاكرة وعدم التركيز والإعاقات الحركية.

الجدول رقم 03 خاص بحساب معامل كاي العام للأمراض الجسمية

الذكور	الإناث	قيمة كاي	قيمة P	درجة الحرية	الدلالة
120	62	21.420	0.314	19	غير دال

تشير المعطيات إلى أن قيمة كاي بلغت 21.420 بمستوى دلالة  $p=0.314$  وهي قيمة أكبر من 0.05 هذا يعني عدم وجود دلالة إحصائية للفروق بين الجنسين على مستوى الاضطرابات الجسمية.

### التحقق من الفرضية الثانية:

نفترض عدم وجود فروق في الأمراض النفسية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسات الرعاية الاجتماعية. سوف نقوم أولا بعرض المعطيات الإحصائية التي تهم التحقق من الفرضية الثانية من خلال حساب النسب المئوية للاضطرابات النفسية لكل من الجنسين الموضحة في الجدولين رقم 04 ورقم 05 ثم من خلال حساب معامل كاي  $\chi^2$  كما هو موضح في الجدول رقم 06.

الجدول رقم 04 الخاص بالاضطرابات النفسية لدى الذكور

الاضطراب النفسي	تكراره	نسبته المئوية
عدم تقدير الذات	12	25,53 %
الاتكالية	7	14,89 %
الخمول وقلة النشاط	6	12,77 %
دهان الشيخوخة	4	8,51 %
القلق	3	6,38 %
الوساوس	3	6,38 %
الاكتئاب	2	4,26 %
إهمال الذات	2	4,26 %
توهم المرض	2	4,26 %
اضطرابات الذاكرة	2	4,26 %
اضطرابات النوم	1	2,13 %
العدوان اللفظي	1	2,13 %
اليأس	1	2,13 %
الهذيان	1	2,13 %
التهيج	0	0,00 %
الهستيريا	0	0,00 %
العصبية المفرطة	0	0,00 %
الفصام	0	0,00 %
<b>المجموع</b>	<b>47</b>	<b>100 %</b>

يتبين من الجدول رقم 04 أن الاضطرابات النفسية لدى الذكور هي عدم تقدير الذات والاتكالية والخمول وقلة الحركة ودهان الشيخوخة والقلق والوساوس مع تسجيل غياب بعض الاضطرابات كالهستيريا والفصام.

الجدول رقم 05 الخاص بالاضطرابات النفسية لدى الإناث

الاضطراب النفسي	تكراره	نسبته المئوية
توهم المرض	6	18,75 %
اضطرابات النوم	3	9,38 %
الخمول وقلة النشاط	3	9,38 %
الاتكالية	3	9,38 %
عدم تقدير الذات	3	9,38 %
القلق	2	6,25 %
الوساوس	2	6,25 %
دهان الشيخوخة	2	6,25 %
اضطرابات الذاكرة	2	6,25 %
الاكتئاب	2	6,25 %
الهذيان	1	3,13 %
إهمال الذات	1	3,13 %
الهستيريا	1	3,13 %
اليأس	1	3,13 %
التهيج	0	0,00 %
العدوان اللفظي	0	0,00 %
العصبية المفرطة	0	0,00 %
الفصام	0	0,00 %
<b>المجموع</b>	<b>32</b>	<b>100 %</b>

يتبين من الجدول رقم 05 أن الاضطرابات النفسية لدى الإناث هي توهم المرض والخمول وقلة الحركة والانتكالية واضطرابات النوم وعدم تقدير الذات يليها الاكتئاب والوسواس ودهان الشيخوخة والقلق واضطرابات الذاكرة مع تسجيل حالات من الهستيريا والهذيان وإهمال الذات واليأس.

الجدول رقم 06 خاص بحساب معامل كاي العام للاضطرابات النفسية

الذكور	الإناث	قيمة كاي	قيمة P	درجة الحرية	الدلالة
47	32	22.6876	0.122	16	غير دال

تشير المعطيات إلى أن قيمة كاي بلغت 22.6876 بمستوى دلالة  $p=0.122$  وهي قيمة أكبر من 0.05 هذا يعني عدم وجود دلالة إحصائية للفروق بين الجنسين على مستوى الاضطرابات النفسية.

## مناقشة النتائج:

تشير نتائج هذه الدراسة إلى عدم وجود دلالة إحصائية للفروق بين الجنسين على مستوى الأمراض الجسمية وكذلك على مستوى الاضطرابات النفسية للمسنين المقيمين بمؤسسات الرعاية الاجتماعية موضوع دراستنا، وهذا يتفق مع ما توصلت إليه دراسة (ريما و بكاش، مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين في دور الرعاية الاجتماعية والتعرف على الفروق بين الجنسين وكشفت نتائجها عن عدم وجود فروق دالة إحصائية بين الذكور والإناث. كما أظهرت نتائج دراستنا توافقا مع ما توصلت إليه دراسة (بشير وخزار، الاضطرابات الجسمية والنفسية لدى المسنين المقيمين بدار العجزة بمدينة باتنة، 2009) التي تناولت الاضطرابات الجسمية والنفسية لدى المسنين المقيمين بدار العجزة بمدينة باتنة بالجزائر وتوصلت إلى عدم وجود فروق دالة إحصائية في الأمراض الجسمية وكذلك في الاضطرابات النفسية باستثناء بعض الفروق الطفيفة المسجلة في توهم المرض عند النساء مقارنة بالذكور. وعموما فإن المسنين عادة ما يعانون من قصور في وظيفة عضو أو أكثر وأيضا من الأرق وغيره وكلها تعتبر من خصوصيات هذه المرحلة. (Monfort, 2001, p. 28).

## خلاصة عامة:

ظهر من نتائج هذه الدراسة أن الأشخاص المسنين المقيمين بمؤسسات الرعاية الاجتماعية بمدينة آسفي والمغرب يعانون من مجموعة من الأمراض الجسمية والاضطرابات النفسية دون تسجيل فروق بين الجنسين. فكبير السن يفقد استقلالته كليا أو جزئيا فيما يخص قدراته الجسمية أو الذهنية مما يبرز ضرورة توفير العناية والعلاج له، وهذا يوضح الحاجة إلى توفير أطباء متخصصين في أمراض الشيخوخة خاصة في ظل تنامي هذه الفئة العمرية، وأيضا تسطير برامج إرشادية وترويقية من شأنها التخفيف من ضغوط هذه المرحلة بشكل إيجابي.

## المراجع العربية

- بو ركب إسماعيل، و سمير قوته. (2010). المشاكل النفسية والاجتماعية لدى المسنين في قطاع غزة وعلاقتها ببعض المتغيرات. *الوداد للتأهيل المجتمعي/ برنامج البحث العلمي والتدريب*.
- الزويد إسماعيل محمد. (2012). واقع حياة المسنين في مؤسسات الرعاية الاجتماعية الحكومية والخاصة في عمان. *مجلة جامعة القدس المفتوحة للأبحاث والدراسات*، 01(28)، الصفحات 249-292.
- سعدي ريما، و زينم بكاش. (2017). مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين في دور الرعاية الاجتماعية في مدينتي اللاذقية وطرطوس. *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية*، 39(02)، الصفحات 355-369.
- سهير كامل أحمد. (بلا تاريخ). *الصحة النفسية والتوافق*. الاسكندرية: مركز الاسكندرية للكتاب.
- سيد سلامة إبراهيم. (1996). *رعاية المسنين: قضايا ومشكلات الرعاية الاجتماعية للفئات الخاصة*. الاسكندرية: المكتب العلمي للكمبيوتر والنشر والتوزيع.
- عاشور عبد المنعم. (بلا تاريخ). *صحة المسنين كيف يمكن رعايتها*. مصر: الهيئة المصرية العامة للكتاب.
- لبني عبد الرحمان السعود. (2018). مستوى التكيف الاجتماعي لدى المسنين المقيمين في دار الضيافة للمسنين في الاردن. *المنارة، المجلد 24(03)*، الصفحات 277-311.
- معمريه بشير، و عبد الحميد خزار. (2009). الاضطرابات الجسمية والنفسية لدى المسنين المقيمين بدار العجزة باتنة. *مجلة شبكة العلوم النفسية العربية* (23)، الصفحات 74-83.
- نعيمة رغداء، و سهاد بدره. (2014). المساندة الاجتماعية الأسرية وعلاقتها بمستوى الاكتئاب لدى المسنين في دور الرعاية بمحافظة اللاذقية. *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية*، 36(02)، الصفحات 135-153.
- حمو خديجة. (2012). علاقة الشعور بالوحدة النفسية بالإكتئاب لدى عينة من المسنين المقيمين بدور العجزة والمقيمين مع ذويهم. رسالة لنيل شهادة الماجستير، كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية معهد علم النفس وعلوم التربية، جامعة الجزائر 02.

## REFERENCES

- [1] S Atoumane, O. K., & El hadji, M. (2016). Vivre le vieillissement au Sénégal. *Geriatr psycho Neuropsychiatrie*, 14(01), pp. 31-41.
- [2] Haut-commissariat au plan .(2017) .Projections de la population et des ménages 2014-2050 .Rabat : centre d'études et de recherches démographiques.
- [3] Monfort, J. C. (2001). Spécificité psychologique des personnes très âgées. *Gérontologie et société*, 24(98), pp. 1-28.

**Efficacité du biopesticide Astoun 50 EC sur *Prosoestus minor* et *Prosoestus sculptilis* (Coleoptera: Curculionidae), ravageurs des inflorescences femelles et son impact sur *Elaeidobius camerunicus* (Coleoptera: Curculionidae), principal pollinisateur du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Côte d'Ivoire**

**[ Efficacy of the biopesticide Astoun 50 EC on *Prosoestus minor* and *Prosoestus sculptilis* (Coleoptera: Curculionidae), pests of female inflorescences, and its impact on *Elaeidobius camerunicus* (Coleoptera: Curculionidae), main insect pollinator of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Côte d'Ivoire ]**

**Atta Kouamé Jean-Claude Yao<sup>1</sup>, Assié Nin Hauverset N'Guessan<sup>2</sup>, Bossoma Danielle Anougba<sup>3</sup>, Ossey Robert N'Depo<sup>1</sup>, Ekra Kouamé Tano<sup>2</sup>, N'Klo Hala<sup>2</sup>, and Dessan Obed Gogoue<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Université Jean-Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is an important crop in tropical agriculture, particularly in Côte d'Ivoire, where it is a major source of income and large-scale by-products. However, oil palm cultivation is confronted with several problems, including attacks by pests, particularly the beetles *Prosoestus minor* and *Prosoestus sculptilis*, which damage female inflorescences and production. These insects cause significant yield losses, compromising palm oil production. In this context of sustainable oil palm cultivation, efficacy of the biopesticide Astoun 50 EC on these pests was evaluated at Centre National de Recherche Agronomique of La Mé, Côte d'Ivoire. The study aimed to determine the effect of this biopesticide on populations of *P. minor* and *P. sculptilis*, and to assess its impact on the main pollinator, *Elaeidobius camerunicus*. Results showed that the toxic effect of Astoun 50 EC increased significantly with increasing doses, from 3.96.10<sup>-4</sup> g/mL to 1.96.10<sup>-3</sup> g/mL. The highest mortality rate was recorded in *Prosoestus minor* at 1.96.10<sup>-3</sup> g/mL after 72 h observation (82.25 ± 4.57%). However, Astoun 50 EC also showed a negative effect on the pollinator *E. kamerunicus*, with 58.25 ± 4.71% mortality. This impact on the pollinator must be incorporated into the control strategy for these pests.

**KEYWORDS:** Oil palm, Female inflorescence, Pest, *Prosoestus minor*, *Prosoestus sculptilis*, *Elaeidobius camerunicus*, Biopesticide, Côte d'Ivoire.

**RESUME:** Le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) est une culture essentielle dans l'agriculture tropicale, particulièrement en Côte d'Ivoire, où il constitue une source majeure de revenus et de produits dérivés. Toutefois, la culture du palmier à huile fait face à plusieurs défis, dont les attaques de ravageurs, notamment les coléoptères *Prosoestus minor* et *Prosoestus sculptilis*, qui affectent les inflorescences femelles et la production. Ces insectes sont responsables de pertes significatives de rendement, compromettant ainsi la production d'huile de palme. Dans un contexte de durabilité de la culture du palmier à huile, l'évaluation de l'efficacité du biopesticide Astoun 50 EC sur ces ravageurs a été menée au Centre National de Recherche Agronomique de la Mé, en Côte d'Ivoire. L'objectif de l'étude était de déterminer l'effet de ce produit biologique sur les

populations de *Prosoestus minor* et *Prosoestus sculptilis* et évaluer son impact sur le principal pollinisateur, *Elaeidobius kamerunicus*. Les résultats indiquent que l'effet toxique de Astoun 50 EC augmentait de manière significative avec l'accroissement des doses de  $3,96 \cdot 10^{-4}$  g/mL à  $1,96 \cdot 10^{-3}$  g/mL de ce produit. Le taux de mortalité le plus élevé a été enregistré chez *Prosoestus minor* avec la dose de  $1,96 \cdot 10^{-3}$  g/mL après 72 h d'observation ( $82,25 \pm 4,57$  %). Cependant, Astoun 50 EC a également montré un effet néfaste sur le pollinisateur *E. kamerunicus*, avec  $58,25 \pm 4,71$  % de mortalité. Cet impact sur le pollinisateur doit être pris en compte dans la stratégie de lutte contre ces ravageurs.

**MOTS-CLEFS:** Palmier à huile, Inflorescence femelle, ravageur, *Prosoestus minor*, *Prosoestus sculptilis*, *Elaeidobius kamerunicus*, Biopesticide, Côte d'Ivoire.

## 1 INTRODUCTION

Originaire du Golfe de Guinée dans l'Afrique de l'Ouest (Jacquemard, 1995), le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) est une plante de grande importance à l'échelle mondiale et constitue une culture stratégique pour de nombreux pays tropicaux. Cette plante est principalement cultivée pour ses fruits riches en huile de palmiste et huile de palme. Le palmier à huile est également très prisé par les industries agroalimentaires, cosmétiques et de biocarburants (USDA, 2021). En Côte d'Ivoire, le secteur agricole, autrefois dominé par le café et le cacao, s'est diversifiée avec l'introduction de nouvelles cultures telles que le palmier à huile. La production mondiale du palmier à huile est estimée à environ 79,46 millions de tonnes/an dont l'Indonésie est le 1<sup>er</sup> producteur avec 60 % de la production mondiale en 2022 (USDA, 2022).

Actuellement, la Côte d'Ivoire est le 7<sup>ème</sup> producteur mondial du palmier à huile, avec une production nationale brute de 2,7 millions de tonnes de régime par an et de 600 000 tonnes/an d'huile brute, et occupe le 2<sup>ème</sup> rang continental derrière le Nigeria (AIPH, 2023). Ce secteur représente un chiffre d'affaires d'environ 500 milliards de FCFA et génère plus de 200 000 emplois réguliers faisant vivre environ 2 millions d'habitants, soit 10 % de la population ivoirienne (Palmer, 2014). Le gouvernement ivoirien s'est fixé comme objectif, à travers son 3<sup>ème</sup> plan « palmier » mis en place par le Programme National d'Investissement Agricole, d'accroître la production d'huile de palme brute de 400 000 à 600 000 tonnes en 2024 (Ricardo, 2010). Malheureusement, cet objectif est compromis malgré le rôle important que joue le palmier à huile dans l'économie ivoirienne. Cette précieuse culture de rente est exposée à de nombreux nuisibles qui affectent toutes ces parties à tous les stades de son développement (Koua, 2008; Tuo, 2013). En effet, au niveau des folioles, le principal ravageur est *Coelaenomenodera lameensis* (Coleoptera: Chrysomelidae) (Berti & Mariau, 1999) dont les dégâts sont causés aussi bien par les adultes que par les larves mais, ces dernières qui creusent des galeries dans le limbe des folioles, sont de loin les plus dangereuses (Kouassi *et al.*, 2019; N'Guessan *et al.*, 2022). Les fortes pullulations de cet insecte strictement phyllophage peuvent provoquer la défoliation à 90 % des arbres, les dégâts pouvant entraîner une chute de la production moyenne de 50 % pendant les deux années suivantes (Mariau *et al.*, 1981). Concernant les inflorescences femelles, les principaux dégâts sont causés par deux Coléoptères, à savoir *Prosoestus sculptilis* et *Prosoestus minor* (N'Guessan *et al.*, 2022; Hala *et al.*, 2025). En cas de forte pullulation, ils peuvent entraîner une baisse significative du taux de nouaison, voire une baisse importante de la production de régimes de palme et même du taux d'huile sur régime (N'Guessan *et al.*, 2022). Alors que la pollinisation du palmier à huile est essentiellement assurée par des insectes pollinisateurs dont le plus important est *Elaeidobius kamerunicus* (Kouakou *et al.*, 2014), de la même famille que *Prosoestus* spp. et qui vit dans le même milieu que ces derniers. Par ailleurs, du fait des perturbations climatiques régulières, une pullulation des populations de *Prosoestus* spp., principaux ravageurs des inflorescences femelles du palmier à huile pourrait être inéluctable. Aussi, pour une agriculture durable et une sécurité alimentaire durable, l'utilisation d'organismes biologiques représente une alternative envisageable pour lutter efficacement contre ces ravageurs. L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'efficacité du biopesticide Astoun 50 EC contre ces ravageurs en vue de contribuer à l'amélioration de la production du palmier à huile.

De manière spécifique il s'est agi de:

- Evaluer l'incidence des dégâts de *Prosoestus minor* et *Prosoestus sculptilis* sur le régime de palme;
- Evaluer l'efficacité de Astoun 50 EC contre *Prosoestus minor* et *Prosoestus sculptilis*;
- Evaluer l'impact de Astoun 50 EC sur *Elaeidobius kamerunicus*.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 SITE D'ÉTUDE

Les études ont été réalisées à la station de recherche de Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) -La Mé (5°26' N, 3°50' O). Le site est limité au nord par le village Kongofon, au sud par le village Aghien, à l'Est par le village Ahoutoué et la rivière Mé. Il est caractérisé par un climat chaud et humide, un relief constitué d'un bas plateau et un bas-fond, avec un sol ferrallitique, profond et grumeleux en éléments fins. La végétation est constituée de forêt et un réseau hydrographique constitué de la rivière Mé et de la lagune Aghien, avec une humidité relative moyenne de 85 %, une température moyenne annuelle de 25,7 °C et une pluviométrie annuelle d'environ 1500 à 2000 mm (Traoré & Mangara, 2009).

### 2.2 MATÉRIEL D'ÉTUDE

Le matériel d'étude a été composé de matériel biologique constitué d'une part par le palmier à huile *Elaeis guineensis* Jacq. La variété utilisée est la variété tenera, de type C1001F actuellement vulgarisée en Côte d'Ivoire. Cette variété a une bonne production en huile (4,3 t/ha), une faible vitesse de croissance en hauteur (45 cm/an), une bonne qualité d'huile et tolérante à la fusariose vasculaire du palmier à huile (Koutou *et al.*, 2014, Tano *et al.*, 2019). Le matériel biologique est d'autre part, constitué des insectes ravageurs des inflorescences femelles du palmier à huile ainsi que *Elaeidobius kamerunicus*, le meilleur insecte pollinisateur du palmier à huile. Il a été également constitué du biopesticide Astoun 50 EC composé de Gérénial, de Néral et de Myrcène comme matière active.

### 2.3 MÉTHODES

#### 2.3.1 EVALUATION DES DÉGÂTS DE PROSOESTUS SPP. (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE), RAVAGEURS DES INFLORESCENCES FEMELLES DU PALMIER À HUILE SUR LES RÉGIMES DE PALMES

La parcelle (J41) de palmier à huile (7 ha) a été choisie et subdivisée en 3 sous parcelles de 2,33 ha chacune. Dans une sous-parcelle, (06) inflorescences femelles en début anthèse ont été sélectionnées. Cinq (5) lots de 40, 60, 80, 100 et 120 spécimens de chaque ravageur ont été constitués. Une inflorescence femelle a été choisie au hasard pour chaque lot d'individus de chaque espèce de ravageurs. Ainsi, pour l'espèce *Prosoestus minor* comme *Prosoestus sculptilis*, 5 inflorescences femelles ont été sélectionnées pour chaque lot. Ce processus a été répété trois fois pour chaque espèce, soit 15 inflorescences femelles par espèce de ravageur. Trois inflorescences femelles témoin pour chaque ravageur ont été également sélectionnées. Au total, 36 inflorescences femelles ont été utilisées pour cet essai. Chaque inflorescence a été débarrassée des palmes gênants et des spathes puis des manchons en toiles de moustiquaire ont été utilisés pour enfermer ces inflorescences (Figure 1). Huit-cent-cinquante (850) individus dont quatre-cent (400) individus de *Prosoestus minor*, quatre-cent (400) individus de *Prosoestus sculptilis* et cinquante (50) individus de *Elaeidobius kamerunicus* ont ensuite été collectés sur des inflorescences infestées sur la même parcelle à l'aide d'un aspirateur à bouche puis lâchés sur les inflorescences dans les manchons lorsque les boutons floraux étaient bien développés. Un suivi régulier a été réalisé et un mois après les lâchers des ravageurs sur les inflorescences, les régimes obtenus ont été récoltés. Après la récolte, les régimes ont d'abord été mis par de lot 5 en fonction du nombre de *Prosoestus sculptilis* et *Prosoestus minor* lâchés. Ces régimes ont été égrappés à l'aide d'une hachette. Cinquante (50) épis par régime et par lot de ravageur ont été prélevés au hasard. Ces derniers ont été ensuite égrappés et effruités. Les fruits ont été sectionnés à l'aide d'un couteau pour être minutieusement examinés. Ce qui a permis d'évaluer le taux de nouaison et le taux d'attaque des ravageurs sur les régimes comme suit:

Les taux de nouaison des fruits ont été calculés par la formule suivante selon Hala (2020).

$$\text{Taux de Nouaison}(\%) = \frac{\text{Nombre de Fruits Noués}}{\text{Nombre de Fruits Total}} \times 100$$

Lorsque le nombre de fruits détruits par *P. minor* et *P. sculptilis* a été déterminé pour chaque régime, le taux d'attaque de ce ravageur a été calculé à partir du nombre de fruits attaqués selon la formule suivante selon Hala (2020):

$$\text{Taux d'attaque (\%)} = \frac{\sum \text{Fruits attaqué}}{\sum \text{Fruits Total}} \times 100$$



Fig. 1. Ensachage d'une inflorescence femelle

### 2.3.2 EVALUATION DE L'EFFICACITÉ DE ASTOUN 50 EC CONTRE PROSOETUS SPP

Le dispositif de l'étude était un bloc de Fischer à 5 objets et répétitions. L'étude a été réalisée en milieu semi-contrôlé (cage) dans la parcelle H25 (7 ha) selon la méthodologie par Hala (2020). Cette parcelle a été subdivisée en 3 sous-parcelles chacune comme la précédente. Dans chaque sous-parcelle, six (06) inflorescences femelles encore ouvertes ont été sélectionnées et enfermées dans des cages en mousseline pour éviter tout contact préalable avec les ravageurs et les pollinisateurs. Ces cages étaient constituées d'une armature métallique de 280 cm x 200 cm au sol et de 170 cm de hauteur, revêtues d'une toile moustiquaire rigide en nylon blanc, de mailles 600 microns. Chaque cage a été utilisée pour renfermer une inflorescence femelle dès l'entrée en début anthèse. Au total 36 cages ont été utilisées pour cet essai. En effet, chaque inflorescence a été débarrassée des palmes gênantes et de leurs spathes avant l'installation des différents manchons sur les inflorescences. Ainsi, 6000 insectes dont 2400 *Prosoestus minor*, 2400 *Prosoestus sculptilis* et 1200 *Elaeidobius kamerunicus* ont ensuite été collectés sur des inflorescences infestées dans la même parcelle à l'aide d'un aspirateur à bouche. Ces insectes ont été lâchés sur les inflorescences sélectionnées dans les manchons pour le test. Trois volumes de Astoun 50 EC (2 ml, 5 ml et 10 ml), dilués chacune dans 250 ml d'eau distillée ont permis d'obtenir les concentrations respectives de  $3,96 \cdot 10^{-4}$  g/ml,  $9,80 \cdot 10^{-4}$  g/ml et  $1,92 \cdot 10^{-3}$  g/ml. Les différentes doses ont été appliquées à l'aide d'un pulvérisateur manuel à pression préalable d'une capacité de 1,5 litre, 24 h après chaque lâcher des insectes dans les manchons. Le biopesticide Astoun 50 EC agit par contact avec un large spectre et recommandé pour la protection des cultures contre les insectes nuisibles comme les pucerons, les chenilles, les aleurodes, les thrips, les acariens mais aussi contre la bactériose, l'antracnose etc.

### 2.3.3 DÉTERMINATION DU TAUX DE MORTALITÉ DES INSECTES

Un contrôle quotidien des inflorescences traitées a été fait à 24 h, 48 h et 72 h afin de suivre l'état des insectes. A chaque période d'observation, les inflorescences ayant subi le traitement ont été coupées et amenées au laboratoire pour être analysées. Les insectes morts ou vivants ont été dénombrés. Au cours des différents contrôles, les individus de *E. kamerunicus* morts ou vivants ont été également dénombrés. Ce qui a permis de déterminer le taux de mortalité de ces insectes ravageurs ainsi que l'impact des différentes doses du produit sur le pollinisateur.

Les taux de mortalité cumulée de *P. sculptilis*, *P. minor* et *E. kamerunicus* ont été calculés comme suit:

$$Mps (\%) = \frac{\Sigma \text{individus morts}}{\Sigma \text{individus dans la cage}} \times 100$$

(Mps: Taux de mortalité cumulée de *Prosoestus sculptilis*)

Les différents taux de mortalité obtenus ont été corrigés selon la formule d'Abbott (1925).

$$Mc = \frac{M0 - Mt}{100 - Mt} \times 100$$

Mc: Mortalité corrigée, M0: Taux de mortalité enregistré dans l'essai, Mt: Taux de mortalité enregistré dans le témoin

### 2.3.4 ANALYSE DES DONNÉES

Les données sur les fruits noués, les fruits parthénocarpiques, l'effet des différentes concentrations de Astoun 50 EC sur *Prosoestus* spp et l'impact sur *E. kamerunicus* en fonction du temps et la comparaison des taux de mortalité entre ces ravageurs ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA) par la procédure GLM du logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9.4. La séparation des moyennes a été réalisée par le test LSD (Least Signifiant Difference) au seuil de 0,05.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 IMPORTANCE DES DÉGÂTS DE PROSOESTUS SCULPTILIS ET PROSOESTUS MINOR SUR LES RÉGIMES

#### 3.1.1 IMPORTANCE DES DÉGÂTS DE PROSOESTUS MINOR SUR LES RÉGIMES

Les résultats obtenus par rapport au du taux de nouaison ont montré qu'aucun fruit n'a été détruit sur les régimes témoin sans *P. minor*. Ainsi, le taux de nouaison a été de 100 %. Avec 40 *P. minor* sur une inflorescence femelle, un taux de nouaison de 77,36 ± 1,57 % a été observé. Pour 60 et 80 *P. minor*, le taux de nouaison des fruits a été respectivement de 64,28 ± 6,38 % et 56,97 ± 7,77 %. Avec 100 *P. minor*, le taux de nouaison des fruits a été un peu faible (43,60 ± 3,95 %). Le plus faible taux de nouaison (33,19 ± 3,06 % de fruits noués) a été obtenu avec 120 *P. minor*. Une différence statistiquement significative a été observée entre les taux des fruits noués (F=80,44; P < 0,001) au regard du nombre d'individus de *P. minor* (Tableau I).

Concernant les fruits parthénocarpiques, les plus forts taux ont été constatés avec 120 *P. minor* et 100 *P. minor* ont enregistré les de fruits parthénocarpiques (66,80 ± 3,06 % et 56,39 ± 3,95 %). Les inflorescences femelles ayant hébergé 80 et 60 *P. minor* ont enregistré des taux moyens de fruits parthénocarpiques respectifs de 43,03 ± 7,77 % et 34,05 ± 5,72 %. Le plus faible taux de fruits parthénocarpique a été constaté avec les inflorescences avec 40 *P. minor* (22,63 ± 1,57 %). Enfin, l'inflorescence témoin sans population de *P. minor*, n'a présenté aucun fruit parthénocarpique. Ces résultats sont statistiquement significatifs (P < 0,001) (Tableau I).

Tableau 1. Etat des fruits en fonction du nombre d'individus de *P. minor*

Nombre d'individus de <i>P. minor</i>	% fruits noués	% fruits parthénocarpiques
Témoin	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>f</sup>
40	77,367 ± 1,57 <sup>b</sup>	22,633 ± 1,57 <sup>e</sup>
60	64,283 ± 6,38 <sup>c</sup>	34,050 ± 5,72 <sup>d</sup>
80	56,970 ± 7,77 <sup>c</sup>	43,030 ± 7,77 <sup>c</sup>
100	43,600 ± 3,95 <sup>d</sup>	56,397 ± 3,95 <sup>b</sup>
120	33,193 ± 3,06 <sup>e</sup>	66,807 ± 3,06 <sup>a</sup>
	<b>P &lt; 0,001</b>	<b>P &lt; 0,001</b>

Les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes (LSD test, α = 0,05).

### 3.1.2 IMPORTANCE DES DÉGÂTS DE PROSOESTUS SCULPTILIS SUR LES RÉGIMES

Sur les régimes issus des inflorescences femelles témoin sans *Prosoestus sculptilis*, le taux de nouaison des fruits a été de 100 %. Un fort taux de nouaison a été observé sur les régimes de palme issus des inflorescences ayant hébergé 40, 60 et 80 *Prosoestus sculptilis* avec respectivement 76,78 ± 4,85 %, 66,14 ± 4,27 % et 51,46 ± 4,38 % de fruits noués. Les inflorescences avec 80 et 100 *P. sculptilis* présentaient des taux de nouaison faibles de, 38,40 ± 5,56 % et 25,69 ± 2,60 de fruits noués. Une différence statistiquement significative a été observée entre les taux des fruits noués ( $P < 0,001$ ) au regard du nombre d'individus de *P. sculptilis* (Tableau II).

Pour les fruits parthénocarpiques, la présence de 120 *P. Sculptilis* et 100 *P. sculptilis* a permis d'enregistrer les plus forts taux de fruits parthénocarpiques, avec respectivement 74,31 ± 26,60 % et 51,60 ± 18,53 % de fruits parthénocarpiques. Cependant, avec 80, 60 et 40 individus de *P. sculptilis* sur les inflorescences, les taux de fruits parthénocarpiques sont relativement faibles avec respectivement 48,54 ± 4,38 %, 33,85 ± 4,27 % et 23,21 ± 4,85 %. Quant au témoin sans *P. sculptilis*, aucun fruit parthénocarpique n'a été observé. Il y a une différence significative a été observée entre les taux de fruits parthénocarpiques ( $P < 0,001$ ) quant au nombre des individus de *P. sculptilis* (Tableau II).

Tableau 2. Taux de nouaison des fruits en fonction du nombre d'individus de *Prosoestus sculptilis*

Nombre d'individus de <i>P. sculptilis</i>	% fruits noués	% fruits parthénocarpiques
Témoin	100 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>
40	76,78 ± 4,85 <sup>b</sup>	23,21 ± 4,85 <sup>c</sup>
60	66,14 ± 4,27 <sup>c</sup>	33,85 ± 4,27 <sup>cb</sup>
80	51,46 ± 4,38 <sup>d</sup>	48,54 ± 4,38 <sup>b</sup>
100	38,40 ± 5,56 <sup>e</sup>	51,60 ± 18,53 <sup>b</sup>
120	25,69 ± 2,60 <sup>f</sup>	74,31 ± 26,60 <sup>a</sup>
	<b>P &lt; 0,001</b>	<b>P &lt; 0,001</b>

Les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes (LSD test,  $\alpha = 0,05$ ).

### 3.2 EFFICACITÉ DE ASTOUN 50 EC CONTRE PROSOESTUS SPP. EN FONCTION DU TEMPS

#### 3.2.1 EFFICACITÉ DE ASTOUN 50 EC CONTRE PROSOESTUS MINOR EN FONCTION DU TEMPS

Vingt-quatre heures (24 h) après traitement, les doses de *Astoun 50 EC* appliquées 2 ml et 5 ml contre *Prosoestus minor* n'ont pas montré une importante toxicité vis-à-vis de ce ravageur. En effet, la dose de 2 ml a entraîné une faible de 27,37 ± 13,91%. Celle de 5 ml a entraîné un taux de mortalité de 43,37 ± 6,22%. Quant à la dose de 10 ml, elle a enregistré un fort taux de mortalité en 24 h (78,87 ± 4,76%) (Figure 2). Des différences statistiquement significatives ont été observées entre les taux de mortalités de *P. minor* ( $P < 0,05$ ) (Tableau III).

En 48 h, les dose de 2 ml a également enregistré un faible taux de mortalité (27,62 ± 6,14%). La dose de 5 ml a enregistré une mortalité de 43,50 ± 5,21%. Par contre, le taux de mortalité enregistré contre cet insecte avec la dose de 10 ml a été 80,62 ± 3,70 % (Tableau III).

En 72h d'observation, les doses de 2 ml a enregistré un faible taux de mortalité de 26,87±7,28%. Le taux de mortalité occasionné par la dose de 5ml a été de 46,12 ± 6,90 %. Concernant la dose de 10 ml, elle a été la plus efficace avec 82,25 ± 4,57 % de mortalité (Figure 2). Quant au témoin, aucune mortalité n'a été observée durant toute la période d'observation. Ces résultats sont statistiquement significatifs ( $P < 0,05$ ) (Tableau III).

Tableau 3. Taux de mortalité de *P. minor* de différentes concentrations de Astoun 50 EC en fonction de des périodes d'observation

Concentration (g/mL)	Taux de mortalité (%) ± Ecart-Type		
	24 h	48 h	72 h
Témoin	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>
2 ml	27,37 ± 13,91 <sup>c</sup>	27,62 ± 6,14 <sup>c</sup>	26,87 ± 7,28 <sup>c</sup>
5 ml	43,37 ± 6,22 <sup>b</sup>	43,5 ± 5,21 <sup>b</sup>	46,12 ± 6,90 <sup>b</sup>
10 ml	78,87 ± 4,76 <sup>a</sup>	80,62 ± 3,70 <sup>a</sup>	82,25 ± 4,57 <sup>a</sup>
p	0,001	0,001	0,001

Les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne se sont significativement différentes (LSD test,  $\alpha = 0,05$ ).



Fig. 2. Individus de *P. minor* tués par le biopesticide

### 3.2.2 EFFICACITÉ DE ASTOUN 50 EC CONTRE PROSOESTUS SCULPTILIS EN FONCTION DU TEMPS

Vingt-quatre heures (24h) après traitement, les doses de Astoun 50 EC appliquées 2 mL et 5 mL contre *Prosoestus sculptilis* ont montré une faible toxicité vis-à-vis de ce ravageur. En effet, la dose de 2 mL a entraîné la mort d'un faible nombre d'individus estimé à  $14,75 \pm 1,70$  %. La dose de 5 mL a également entraîné un taux de mortalité de  $40,75 \pm 2,39$  %. Quant à la dose de 10 mL, elle a permis un fort taux de mortalité en 24 h avec  $50,75 \pm 7,23$  % (Figure 3). Aucun *P. sculptilis* mort n'a été enregistré chez le témoin non traité. Une différence statistiquement significative a été observée entre les taux de mortalités de *P. sculptilis* ( $P < 0,001$ ) (Tableau IV).

En 48 h, la dose de 2 mL a occasionné un faible taux de mortalité de  $19,87 \pm 2,28$  %. Et celle de 5 mL a causé un taux de mortalité de  $41,37 \pm 4,47$  %. Ces doses ont présenté une faible toxicité vis-à-vis de *P. sculptilis*. Par contre, la dose de 10 mL a été la plus efficace avec un taux de mortalité du ravageur estimé à  $54,37 \pm 7,88$  % (Figure 3). Aucun *Prosoestus sculptilis* mort n'a été enregistré chez le témoin qui n'a reçu aucune dose de Astoun 50 EC. Une différence statistiquement significative a été observé entre les taux de mortalités de *P. sculptilis* ( $P < 0,001$ ) (Tableau IV).

En 72 h, la dose de 2 mL traitée contre *P. sculptilis* a montré un plus faible taux de mortalité ( $20,87 \pm 2,86$  %). Le taux de mortalité occasionné par la dose de 5 mL a été de  $42,5 \pm 3,47$  %. En ce qui concerne la dose de 10 mL, elle a été la plus efficace avec  $57,12 \pm 3,83$  % de mortalité (Figure 3). Quant au témoin non traité, aucun *P. sculptilis* mort n'a été enregistré. Une différence statistiquement significative a été observée entre les taux de mortalités de *P. sculptilis* ( $P < 0,001$ ) (Tableau IV).

Tableau 4. Taux de mortalité de *P. sculptilis* en 24 h en fonction de différentes concentrations de Astoun 50 EC en fonction des périodes d'observation

Concentration (g/ml)	Taux de mortalité (%) ± Ecart-Type		
	24 h	48 h	72 h
2 mL ( $3,96 \cdot 10^{-4}$ )	14,75 ± 1,70 <sup>c</sup>	19,87 ± 2,28 <sup>c</sup>	20,87 ± 2,86 <sup>c</sup>
5 mL ( $9,80 \cdot 10^{-4}$ )	40,75 ± 2,39 <sup>b</sup>	41,37 ± 4,47 <sup>b</sup>	42,5 ± 3,47 <sup>b</sup>
10mL ( $1,96 \cdot 10^{-3}$ )	50,75 ± 7,23 <sup>a</sup>	54,37 ± 7,88 <sup>a</sup>	57,12 ± 3,83 <sup>a</sup>
Témoin	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>
	<b>P &lt; 0,001</b>	<b>P &lt; 0,001</b>	<b>P &lt; 0,001</b>

Les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes (LSD test,  $\alpha = 0,05$ ).



Fig. 3. Individus de *P. sculptilis* tués par le biopesticide

### 3.3 IMPACT DE ASTOUN 50 EC SUR *E. KAMERUNICUS*, PRINCIPAL POLLINISATEUR DU PALMIER À HUILE

Après l'application des différentes doses de Astoun 50 EC sur *Prosoestus* spp, l'impact a été observé à différentes périodes sur *E. kamerunicus*, le principal pollinisateur du palmier à huile (Figure 4). En effet, à 24 h après traitement, les doses de 2 mL et 5 mL ont montré une faible toxicité vis-à-vis du pollinisateur, avec de faibles taux de mortalité respectifs de  $25,75 \pm 2,21$  % et  $32 \pm 6,83$  %. Il en est de même pour le témoin qui a aussi enregistré un très faible taux de mortalité ( $6,00 \pm 2,16$  %). Cependant, la dose de 10 mL a engendré un fort taux de mortalité de  $50,25 \pm 8,88$  % dans la population du pollinisateur (Figure 4). Une différence statistiquement significative a été observée entre les taux de mortalités de *E. kamerunicus* au regard des différences doses appliquées ( $P < 0,001$ ) (Tableau VI).

En 48 h, les doses de 2 ml et 5 ml ainsi que le témoin ont eu moins d'impact négatif sur *E. kamerunicus*. Les taux dans les populations de ce pollinisateur oscillent entre  $12,75 \pm 1,70$  % et  $33,75 \pm 5,67$  %. Par contre, la dose de 10 mL a été plus toxique, entraînant un taux de mortalité de *E. kamerunicus* élevé de  $56,5 \pm 3,69$  % (Figure 4). Ces résultats sont statistiquement différents ( $P < 0,05$ ) (Tableau VI).

En 72 h, la dose de 2 mL a enregistré un plus faible taux de mortalité  $36,5 \pm 3,87$  %. Le taux de mortalité occasionné par la dose de 5 mL a été de  $40,5 \pm 5,19$  %. En ce qui concerne la dose de 10 ml, elle a été plus toxique avec  $58,25 \pm 4,71$  % de mortalité chez *E. kamerunicus*. Chez le témoin qui n'a reçu aucune dose,  $15,5 \pm 4,79$  % de taux de mortalité ont été enregistrés. Des différences statistiquement significatives ont été observées entre les taux de mortalités de *P. sculptilis* au regard des différences doses ( $P < 0,001$ ) (Tableau V).

Tableau 5. Taux de mortalité de *E. kamerunicus* de différentes concentrations de Astoun 50 EC en fonction des périodes

Concentration (g/ml)	Taux de mortalité (%) ± Ecart-Type		
	24 h	48 h	72 h
2 ml ( $3,96.10^{-4}$ )	25,75 ± 2,21 <sup>b</sup>	30,5 ± 2,08 <sup>b</sup>	36,5 ± 3,87 <sup>b</sup>
5 ml ( $9,80.10^{-4}$ )	32,00 ± 6,83 <sup>b</sup>	33,75 ± 5,67 <sup>b</sup>	40,5 ± 5,19 <sup>b</sup>
10 ml ( $1,96.10^{-3}$ )	50,25 ± 8,88 <sup>a</sup>	56,5 ± 3,69 <sup>a</sup>	58,25 ± 4,71 <sup>a</sup>
Témoin	6 ± 2,16 <sup>c</sup>	12,75 ± 1,70 <sup>c</sup>	15,5 ± 4,79 <sup>c</sup>
	<b>P &lt; 0,001</b>	<b>P &lt; 0,001</b>	<b>P &lt; 0,001</b>

Les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différentes (LSD test,  $\alpha = 0,05$ ).



Fig. 4. Individus de *E. kamerunicus* tués par le biopesticide

#### 4 DISCUSSION

Les résultats de l'évaluation des dégâts de *Prosoestus* et *Prosoestus sculptilis* sur les inflorescences femelles du palmier à huile ont révélé d'énormes dommages causés par ces insectes. En effet, les dommages causés par ces nuisibles augmentaient lorsque la population de ces ravageurs croissait sur les inflorescences femelles. Aussi, sur les différentes inflorescences femelles infestées avec *Prosoestus minor*, les résultats ont montré qu'avec une population de 60 à 120 individus, le pourcentage de fruits endommagés variait entre  $34,05 \pm 5,72$  % et  $66,80 \pm 3,06$  %. Cependant, *Prosoestus sculptilis* s'est montré plus dévastateur des inflorescences femelles avec un taux de fruits endommagés de plus de 70 % pour une population de 60 à 120 individus. Cela pourrait être dû au fait qu'en se nourrissant sur une inflorescence femelle, une forte population de cet insecte ravageur des fleurs détruit les stigmates en les rendant non réceptifs aux grains de pollen lors de la fécondation de ceux-ci. Ces résultats corroborent ceux de N'Guessan *et al.* (2022), qui ont montré que les dommages causés par ces insectes nuisibles sur les inflorescences étaient plus élevés dans leurs travaux de recherche. Ainsi, pour ces auteurs le pourcentage de fruits endommagés atteignait plus de 70 %, car les larves issues des pontes de ces insectes se nourrissent des fruits et y creusent des galeries. Des résultats similaires avaient également été obtenus par (Hala *et al.*, 2018), qui ont montré que lorsque cet insecte se nourrissait sur les inflorescences femelles, il y pondait des œufs. Selon ces auteurs, les larves de *P. sculptilis* creusent des galeries descendantes au niveau du gynécée et lors du développement des larves, celles-ci détruisent complètement la fleur. Alors que les larves de *P. minor* n'endommagent que les stigmates, les rendant non réceptifs au pollen, perturbant ainsi la germination du grain de pollen.

Au cours de cette étude, le biopesticide (Astoun 50 EC) testé sur ces ravageurs des inflorescences du palmier a montré son efficacité contre *Prosoestus* spp. En effet, ce produit biologique a été plus efficace contre l'espèce *Prosoestus minor* car avec la dose minimale de 10 mL a entraîné plus de 50 % de mortalité à partir du 1<sup>er</sup> jour de d'observation. et  $82,25 \pm 4,57$  % après 72 h d'observation. Astoun 50 EC a montré une efficacité sur les deux ravageurs car plus de 50 % des individus ont été neutralisé par ce produit dans un laps de temps. Cependant, l'espèce *P. minor* a été le plus affecté. Cela pourrait s'expliquer d'une part, par sa petitesse et à la fragilité de la cuticule de l'insecte, comparativement à l'espèce *P. sculptilis*. D'autre part, par la propriété à la fois fongicide et insecticide de Astoun 50 EC. En effet, Astoun 50 EC a été utilisé par certains auteurs tels que Fofana *et al.* (2020) pour traiter les maladies fongiques liées aux ignames. Selon ces derniers, Astoun 50 EC a permis de contrôler la pourriture brune des cabosses de cacao causée par *Phytophthora palmivora*.

Au cours de cette même étude, l'impact du produit testé sur les ravageurs, a été mesuré sur le pollinisateur par excellence du palmier à huile *E. kamerunicus*. Les résultats ont révélé que ce produit appliqué avait un effet toxique contre ce dernier. Toutefois, la dose de 10 mL a permis de constater un taux de mortalité élevé chez le pollinisateur ( $58,25 \pm 4,71$  %). Cela pourrait être dû au fait que les matières actives de Astoun 50 EC ont réussi à franchir la cuticule de cet insecte et parvenir à bloquer son système de défense, causant la mort du pollinisateur. Car selon Kovalev *et al.* (2018), ces différents insectes *P. minor*, *P. sculptilis* et *E. kamerunicus*, appartenant à la famille des Curculionidae, et donc leur cuticule aurait la même configuration (sclérifiée et striée). Aussi Kobenan *et al.* (2018) ont indiqué que certaines molécules actives auraient des effets insecticides et perturberaient l'activité des synapses. Il est de même pour Dufour *et al.* (2002), ont signifié la mort de *E. kamerunicus*. Selon ces auteurs, la mort de ces insectes serait d'une part dû à leur courte durée de vie; d'autre part à la chaleur qui est un facteur limitant.

Astoun 50 EC est efficace pour la gestion des ravageurs *Prosoestus spp.* Cependant, il est impératif de tenir compte de son impact négatif sur les pollinisateurs lors de la mise en place d'une lutte intégrée.

## 5 CONCLUSION

*Prosoestus sculptilis* et *Prosoestus minor* sont deux espèces de Coléoptères qui se nourrissent et se développent sur les fleurs femelles du palmier à huile. Ces deux espèces causent des dommages considérables à partir de 60 individus par inflorescence femelle, *Prosoestus sculptilis* est l'espèce la plus destructrice. Afin de réduire les effets néfastes de ces ravageurs, l'efficacité d'un biopesticide, le produit Astoun 50 EC, a été évaluée. Les résultats montrent que ce produit a été efficace contre ces insectes ravageurs du palmier à huile. L'effet toxique de Astoun 50 EC augmentait de manière significative avec l'accroissement des doses (de 2 ml à 10 ml) de ce produit. *Prosoestus minor* a enregistré le taux de mortalité le plus élevé avec la dose de 10 ml après 72 h d'observation ( $82,25 \pm 4,57$  %). Cependant, Astoun 50 EC a également eu un impact négatif sur le pollinisateur *E. kamerunicus*, car entraînant  $58,25 \pm 4,71$  % de mortalité chez cet insecte pollinisateur. Cet impact sur le pollinisateur doit être pris en compte dans la stratégie de lutte contre ces ravageurs.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le personnel du Laboratoire d'Entomologie du CNRA-La Mé. Toutes ces personnes ont été d'une contribution indispensable à la réalisation de cette étude. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à l'endroit du Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricole (FIRCA) qui a bien voulu financer le projet qui a permis l'accomplissement de cette étude.

## REFERENCES

- [1] J. C., 1995. Le palmier à huile. Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris (France); 205 p. <https://www.quae-open.com/produit/63/9782759217496/le-palmier-a-huile>.
- [2] USDA, 2021. Palm oil 2021 word production. Available at: [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/ChartSummary.aspx?cropid=4243000&year=2021&subrgnid=wafrika\\_CIV000](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/ChartSummary.aspx?cropid=4243000&year=2021&subrgnid=wafrika_CIV000). Online updated 07/2025. Consulted on 02/06/2021 at 3 p.m.
- [3] USDA, 2022. Cote d'Ivoire: Oilseeds and Products Report. Report Number: IV2022-0008; Available from Available from <https://www.fas.usda.gov/data/cote-divoire-oilseeds-and-products-report>. (last consult: 2024/07/17) /.
- [4] AIPH, 2023. Les produits. [aiph.ci/les-produits](http://aiph.ci/les-produits).
- [5] Palmci, 2014. Rapport annuel; 25 p.
- [6] Ricardo C., 2010. Le palmier à huile en Afrique: le passé, le présent et le futur. Collection WRM sur les plantations No. 15; 77 p.
- [7] Koua K. H., 2008. Répartition spatio-temporelle des populations et physiologie de la digestion de *Coelaenomenodera lameensis* Berti et Mariau (Coleoptera: Chrysomelidae), ravageur du palmier à huile. Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 152 p.
- [8] Tuo Y., 2013. Etat de l'entomofaune des inflorescences du palmier à huile en Côte-d'Ivoire: cas de la station CNRA de La Mé. Thèse de doctorat, Université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 192 p.
- [9] Kouassi A.C., Hala N., Hala K. A., Kouassi P., 2019. Impact des fourmis rouges *Oecophylla longinoda* Latreille (Hymenoptera: Formicidae) sur la dynamique des populations de *Coelaenomenodera lameensis* Berti & Mariau (Coleoptera: Chrysomelidae), principal ravageur du palmier à huile *Elaeis guineensis* JACQ en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*; 41 (1): 6757-6766.

- [10] N'Guessan A. H., Anougba B. D., Niamketchi G. L., Konan K. J-N. and Kouassi N. A., 2022. Impact of insect pests of female oil palm inflorescences on the quality of palm bunches and palm oil. *Journal of Entomology and Zoology Studies*; 10 (3): 131-140.
- [11] Mariau D., Desmier De Chenon R., et Julia J.F., 1981. Les ravageurs du palmier à huile et du Cocotier en Afrique occidentale. *Oléagineux*, 36: 169-228.
- [12] Hala KA, Hala N, Aby N, N'Guessan HA, Akpessé AAM, KOUA KH, 2025. Évaluation de l'efficacité de trois méthodes de lutte contre *Prosoestus* spp. (Coleoptera: Curculionidae), principaux ravageurs des inflorescences femelles du palmier à huile (*Elaeis guineensis*) en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*; 26 (1): 84 – 98. <http://www.afriquescience.net>
- [13] Kouakou, M., Hala, N., Akpessé, A.K.M., Tuo, Y., Dagnogo, M., Konan, K.E. and Koua, K.H., (2014). Comparative efficacy of *Elaeidobius kamerunicus*, *E. Plagiatus*, *E. Subvittatus* (Coleoptera: Curculionidae) and *Microporum* spp (Coleoptera: Nitidulidae) in the pollination of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2 (6), 538-545. <http://jebas.org/00200620122014/Kouakou%20et%20al%20JEBAS.pdf>
- [14] Traoré K. et Mangara A., 2009. Etude Phyto-Écologique des Adventices dans les Agro-Écosystèmes Élaeicoles de la Mé et de Dabou. *European Journal of Scientific Research.*, 31 (4): 519-533. <https://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2016/08/13.Traore-et-Pene.pdf>
- [15] Koutou A., Cochard B., Durand- gasselín T., 2014. «Fluidité de l'huile produite par des arbres du second cycle de sélection récurrente réciproque chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* JACQ)», *Agronomie Africaine*, 26 (3): 275–280.
- [16] Tano E.K., Konan J.N., Alla-N'Nan O., Akanvou R., Nguetta A.S.P. et Konan E.K., 2019. «Etude des performances génétiques des descendances parentales issues de deux systèmes de reproduction de géniteurs utilisés en production de semences sélectionnées de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.)», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (3): 1800-1816.
- [17] Hala K.A., 2020. Bioécologie, dégâts, répartition de *Prosoestus sculptilis* et *Prosoestus minor* (Coleoptera, Curculionidae) dans les principales zones de production du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Côte-d'Ivoire et recherche de méthodes de lutte pour l'amélioration du taux de nouaison. Thèse Doctorat, Entomologie et Gestion des Ecosystèmes de l'Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan Cocody, 236 p.
- [18] Hala K. A., Aby N., Hala N., Akpessé A. M. and Koua K. H., 2018. Biology of *Prosoestus sculptilis* and *Prosoestus minor* (Coleoptera, Curculionidae), pests of female inflorescences of the oil palm in Côte d'Ivoire. *International Journal of Agriculture, Environment and BioResearch*, 3 (4): 173 - 184. [https://ijaeb.org/uploads2018/AEB\\_03\\_206.pdf](https://ijaeb.org/uploads2018/AEB_03_206.pdf)
- [19] Fofana B., Soro S., Kassy F., Silué N., Zouzou M. et Kone D., 2020. Valorisation de biofongicides d'origine végétale en vue d'une gestion éco-efficace de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer causée par *Phytophthora palmivora*. *Journal of Animal & Plant Sciences*; 44 (2): 7654-7676. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v44-2.6>.
- [20] Kovalev S.Y., Fedorova S.Zh., Mukhacheva T.A., 2018. Molecular features of *Ixodes kazakstani*: first results. *Elsevier*; 9 (3): 759-761. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.02.019>
- [21] Kobenan K. C., Tia V. E., Ochoy G. E. C., Kouakou M., Bini K. K. N., Dagnogo M., Dick A. E., Ochoy O. G., 2018. Comparaison du potentiel insecticide des huiles essentielles d'*Ocimum gratissimum* L. et d'*Ocimum canum* Sims sur *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera: Gelechiidae), insecte ravageur du cotonnier en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14 (21): 286-301. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n21 p.286.
- [22] Dufour J., 2002. Le développement durable: quelques expériences et études de cas. Université du Québec à Chicoutimi, Groupe de recherche et d'intervention régionales.

