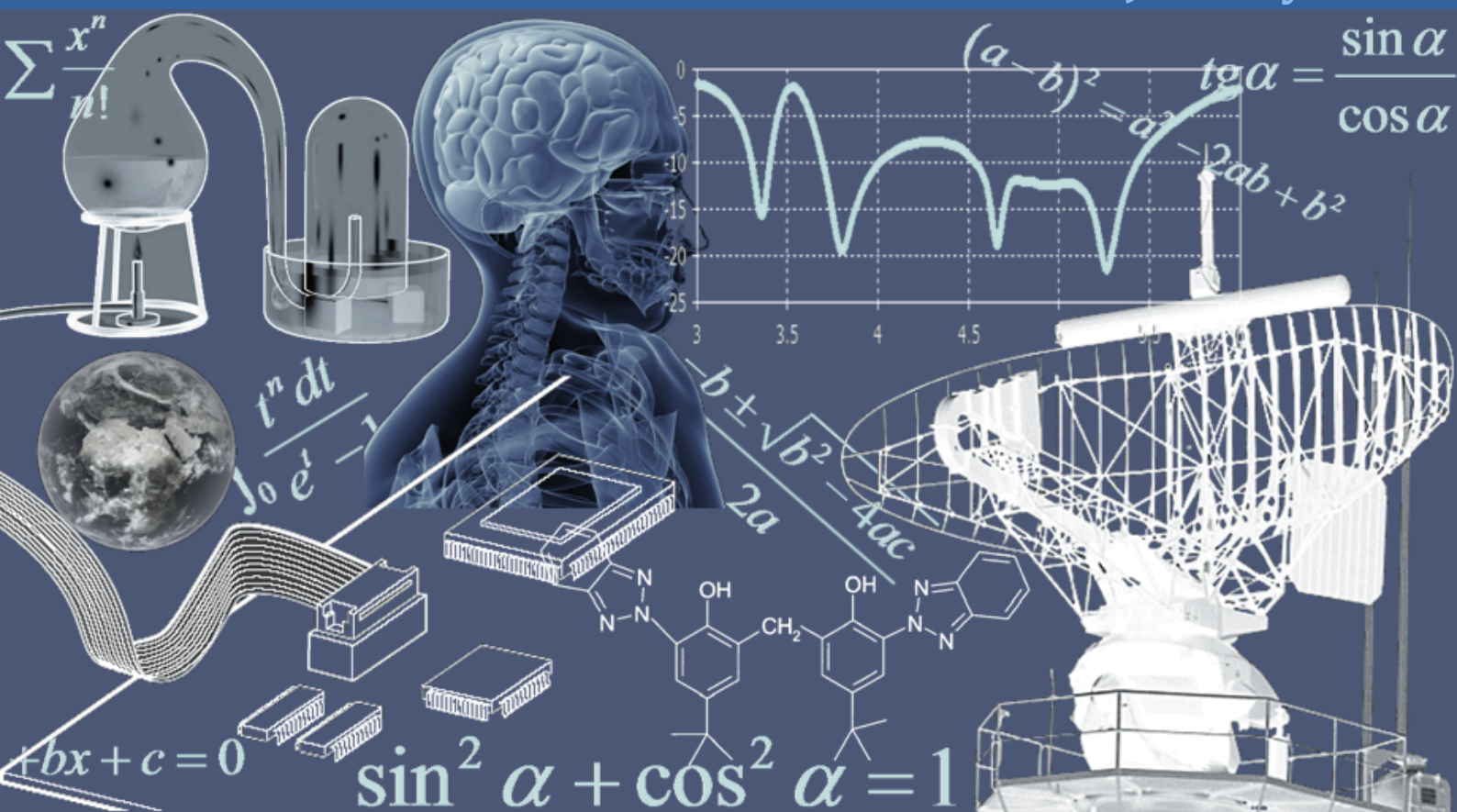


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 41 N. 3 January 2024



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 Kavrouidakis, University of the Aegean, Greece
Vaitsa Giannouli, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Nataša Pomazalová, Mendel University in Brno, Czech Republic
Hazem M. Shaheen, Damanhour University, Egypt
Shalini Jain, Manipal University Jaipur, India
Amin Julia, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Bumerdes, 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

Evaluación de la efectividad de programas de educación financiera en el desarrollo de habilidades empresariales y la toma de decisiones entre jóvenes emprendedores	706-716
<i><u>Ida Ivete Campi Mayorga, Ronal Gregorio Cabrera Peñafiel, Carlos Marcelo Zambrano Bravo, and Ligner Cesibel Rosel Lucio</u></i>	
Blockchain for Peer-to-Peer Insurance: Design and implementation of a P2P Insurance application using smart contracts	717-728
<i><u>Saad Slaoui Hasnaoui and Hafid Barka</u></i>	
Evolution de l'occupation du sol dans les bassins versants fortement urbanisés et leurs impacts sur les ruissellements de surface: Cas de Bonoumin et du Gourou (Abidjan, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest)	729-744
<i><u>Kouadio Prudence Aka, Yao Blaise KOFFI, Anzoumanan KAMAGATÉ, Kouassi Ernest AHOUSSE, and Amani Michel Kouassi</u></i>	
Impact de l'agroforesterie sur la productivité durable des sols cacaocultivés au centre de la Côte d'Ivoire	745-757
<i><u>Kouame Amany Guillaume, N'Ganzoua Kouamé René, Kouadio Koffi Hypolith, Moreto Salla, and Sidiky BAKAYOKO</u></i>	
Optimisation de la numérisation dans la gestion du spectre de fréquences radioélectriques dans la Ville Province de Kinshasa	758-764
<i><u>KISOKI MBUNGA Henri</u></i>	
Etude phylogénétique des populations de <i>Chrysichthys Nigrodigitatus</i> de trois bassins aquatiques de Côte d'Ivoire	765-770
<i><u>Coulibaly Tionrotia Alice Sita Ouattara, Yebe Zohoré Pascal Ougah, and Adepo-Gourene Beatrice Abouo</u></i>	
Caractérisation de la filière de commercialisation du poisson dans la ville de Maradi (Niger)	771-784
<i><u>Mahamadou Issoufou Hassane and Moussa Oumarou Mariam</u></i>	
Multi-factor authentication system for securing mobile money transactions using mobile money services in Ivory Coast	785-794
<i><u>Nogbou Georges Anoh, Kone Tiémoman, Gokou Hervé Fabrice Diedie, and Michel Babri</u></i>	
Capteur électrochimique à base de pate de carbone modifiée par le phyllanthus amarus pour la détection d'un perturbateur du taux de spermatozoïde « l'acide perfluorooctane »	795-803
<i><u>Bernadette EHUI AVO BILE, Koffi Jules N'DA, Olivier François Aristide Bertrand KOFFI, Sakina TOUZARA, Abdelilah CHTAINI, Teadouanka Luciano LOUA, and De Serifou MATYLA</u></i>	
Les animations graphiques et leur impact sur l'apprentissage de l'immunologie par les élèves de la 3ème année du collège: Cas de l'immunité innée	804-813
<i><u>Mouad CHAT, Anouar AIDOUN, El Mostafa AMIRI, and Rachid Janati-Idrissi</u></i>	
Vodoun: Historical and socio-anthropological study of an ancestral heritage in search of affirmation	814-824
<i><u>Bienvenu Hospice Houryoton</u></i>	
Caractérisation pétro-structurale des dépôts oligocènes du Continental terminal 3 (Ct3) des secteurs de Tondibia, «Rhodésie» et Kongou (région de Niamey, Niger occidental)	825-846
<i><u>Karimou Laouali Idi, Hassan Ibrahim Maharou, Daouda Illia Allo, Karimou Dia Hantchi, Aminou Maâzou Abdoulaye, and Moussa Konate</u></i>	
Contribution des extractions de sables marins à l'accélération de l'érosion côtière dans la région de San Pedro (Côte d'Ivoire)	847-858
<i><u>Lou Soholy Ange Claverie Lassey, Bi Youzan Aimé Ghamble, and Blandine Akissi Egoran</u></i>	
Development of a web server load balancing system	859-866
<i><u>Thomas LOBA, N'Golo KONATE, Mory Richard BATIEBO, and Romaric De Judicael BITA</u></i>	
Détermination de caractères phénotypiques et zootechniques chez des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan	867-875
<i><u>Yapo Akaffou, Moussa Komara, Bi Irie Van Dexter Youan, and Komissiri Dagnogo</u></i>	
Effets de l'engrais organique «Bokashi» sur la productivité des cacaoyers (<i>Theobroma cacao</i> L.) à Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)	876-885
<i><u>Konan Jeanne Armelle Manhounou, Zoumana KONATE, Kouadio Koffi Hypolith, Fofana Inza, and Sidiky BAKAYOKO</u></i>	
Antenatal diagnosis of anencephaly: A case report	886-888
<i><u>Samia Bennaceur, Nassima Ouguerzi, and Jaouad Kouach</u></i>	

Validation des données d'estimation pluviométrique de « African Rainfall Climatology 2 » pour la zone cotonnière du Mali	889-896
<i><u>Souleymane Sidi Traore</u></i>	
Enseignement-apprentissage et éveil scientifique en chimie: Cas des éléments chimiques à l'école primaire et maternelle	897-902
<i><u>Mpunga Kalota Gloria, Kapenga Kasongo Jean-Jacques, Ikolongo Befembo Jean Pierre, Mubedi Ilunga Josué, Bivavanga Bikindu Joseph, Loba Charlotte, Fele-Fele Mafuta, Mwika Kalanga Adolphine, Malongo N'Kodia Nkutu Pierre, Mukendi Wa Mpoyi Pierre, Makindu Kizibisha Darius, Indenge Y'Essambalaka Joseph, Pongi Nzita Kinkela Jérôme, and Likotelo Binene Camile</u></i>	
Enseignement-apprentissage et éveil scientifique en chimie: Cas des éléments chimiques à l'école primaire et maternelle (La structure de l'atome)	903-909
<i><u>Mpunga Kalota Gloria, Kapenga Kasongo Jean-Jacques, Ikolongo Befembo Jean Pierre, Mubedi Ilunga Josué, Bivavanga Bikindu Joseph, Loba Charlotte, Fele-Fele Mafuta, Mwika Kalanga Adolphine, Malongo N'Kodia Nkutu Pierre, Mukendi Wa Mpoyi Pierre, Makindu Kizibisha Darius, Indenge Y'Essambalaka Joseph, Pongi Nzita Kinkela Jérôme, and Likotelo Binene Camile</u></i>	

Evaluación de la efectividad de programas de educación financiera en el desarrollo de habilidades empresariales y la toma de decisiones entre jóvenes emprendedores

[Evaluation of the effectiveness of financial education programs in the development of business skills and decision making among young entrepreneurs]

Ida Ivete Campi Mayorga¹, Ronal Gregorio Cabrera Peñafiel², Carlos Marcelo Zambrano Bravo³, and Ligner Cesibel Rosel Lucio⁴

¹Rectora, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Doctora en Educación, Magister en dirección de empresas con énfasis en gerencia estratégica, Economista, Licenciada en ciencias económicas, Daule, Ecuador

²Gestor de vinculación, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Contador Público Autorizado, Daule, Ecuador

³Docente Investigador, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Ing. Comercial con mención especial en administración Agropecuaria y agroindustrial, Daule, Ecuador

⁴Dirección Administrativa Financiera, Instituto Superior Tecnológico «Juan Bautista Aguirre», Magister en Contaduría Pública, Daule, Ecuador, Daule, Ecuador

Copyright © 2024 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: En el cantón Daule, numerosos jóvenes contemporáneos se enfrentan a un dilema al contemplar la idea de emprender sus propios negocios. Muchos de ellos observan que sus pares están involucrados en la administración y planificación empresarial, pero carecen del conocimiento necesario para gestionar los gastos relacionados con la adquisición de recursos vitales para sus proyectos emprendedores. En esencia, estos jóvenes carecen de competencia financiera y no comprenden cabalmente cómo opera el dinero.

El propósito de este estudio es describir la influencia de la educación financiera en las decisiones de futuros emprendedores jóvenes en el cantón Daule y diseñar estrategias informativas sobre finanzas que les capaciten para emprender con éxito. El enfoque de investigación es cualitativo, respaldado por la metodología cuantitativa, y se desarrolla mediante un diseño de investigación de campo. Para recopilar datos, se aplicaron cuestionarios y se consultó información relevante en fuentes documentales relacionadas con las variables de investigación.

Este estudio tiene un alcance descriptivo, presentando los resultados en tablas y gráficos para facilitar su comprensión. Se administraron cuestionarios a 200 jóvenes del cantón Daule, cuyos datos son cruciales para diseñar estrategias informativas en el ámbito de la educación financiera, proporcionando conocimientos esenciales y pertinentes para una adecuada gestión financiera en el contexto de los emprendimientos juveniles en el cantón.

KEYWORDS: Educación, Finanzas, Banca, Joven, Emprendimiento.

1 INTRODUCCIÓN

La educación financiera se vuelve esencial para aquellos que desean tener éxito en el mundo de los negocios y el emprendimiento. Para los organismos internacionales como UNICEF, el emprendimiento se ha convertido en una opción profesional importante para los jóvenes en todo el mundo, y esta tendencia no parece desaparecer. Los jóvenes emprendedores de hoy son nativos digitales y, por lo tanto, se centran en modelos relacionados con internet, como

aplicaciones, comercio electrónico e internet de las cosas. Aunque la tecnología desempeña un papel clave, el sector de servicios también es fundamental.

Uno de los desafíos que enfrentan estos jóvenes es la falta de habilidades para organizar y presentar sus ideas de manera efectiva para atraer socios, inversores y clientes. Emprender no significa simplemente disfrutar de la abundancia; al principio, implica enfrentar dificultades y aprender a realizar múltiples tareas, es esencial saber vender tu proyecto, delegar responsabilidades y rodearte de otros emprendedores e inversores.

En la actualidad, muchos jóvenes emprendedores en el cantón daule carecen de la información financiera adecuada para desarrollar sus negocios, lo que limita su crecimiento. La educación financiera, al proporcionar conocimientos profundos sobre este tema, puede ayudar a los jóvenes a abordar los desafíos financieros comunes que surgen al emprender. Esto optimizará el desarrollo de sus emprendimientos y les permitirá adquirir las habilidades necesarias para alcanzar la estabilidad económica.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 EDUCACIÓN FINANCIERA EN EL MUNDO

A nivel internacional, según [8] realizaron un análisis en México en el que afirmaron que el bajo nivel de educación financiera de los mexicanos en el análisis se debía a la falta de educación financiera, lo que se manifiesta principalmente en el uso poco frecuente o ineficaz de los productos y servicios financieros, los malos hábitos al momento de la compra, la incomprensión de derechos y obligaciones, la falta de idealización financiera, etc., afectan negativamente a los productos y servicios financieros como su mundo y calidad de vida, mientras que al mismo tiempo no ayudan a las instituciones financieras a alcanzar el grado de competitividad requerido y estimular el desarrollo económico de la nación. Por lo tanto, no se le da la debida importancia, por lo que no se logran los resultados suficientes y esperados.

A nivel nacional, en el cantón Quindí de la provincia de Esmeralda, [4] realizó un análisis de la educación financiera y tributaria en las empresas del respectivo cantón analizado. Para lo cual se utilizó una encuesta que se aplicó a 354 empresarios que tienen un conocimiento bastante básico de financiamiento, hábitos de ahorro, y además desconocen sobre la elaboración de una estrategia financiera de acuerdo con las obligaciones con el Servicio de Derecho Interno del Instituto. Así, concluye que determinan que es elemental brindar capacitación a los empresarios en materia tributaria y financiera a fin de mejorar la gestión en lo que se relaciona con las actividades comerciales que realizan.

De igual forma, [11] de la Universidad Técnica de Ambato desarrolló un estudio sobre educación financiera y emprendimiento de muebles de madera en el cantón de Huambato que ofrece información actualizada sobre psicología del comportamiento que realizan los individuos al momento de ejercer su negocio. Donde llegó a la conclusión que la mayoría de los empresarios involucrados en la investigación cuentan con un título en educación financiera, sin embargo, estos no funcionan adecuadamente, por lo que es conveniente enfocarse en mejorar las condiciones en estas áreas de entendimiento entre los empresarios para que puedan así optimizar su proceso de toma de decisiones y aumentar su competitividad en el mercado.

2.2 EDUCACIÓN FINANCIERA MIRADA CONTEMPORÁNEA

La educación financiera, en el contexto actual, se concibe como un conjunto de conocimientos esenciales para comprender y gestionar de manera efectiva aspectos financieros, tales como costos, ingresos y ahorro. Según [10], la educación financiera engloba la capacidad de razonar y comprender conceptos financieros y riesgos, además de desarrollar la motivación y la confianza necesarias para aplicar dicho conocimiento en la toma de decisiones financieras. Este enfoque es esencial para mejorar la situación económica de las personas.

En [15] se resalta la importancia de la educación financiera como un pilar fundamental, aunque no exclusivo, para los consumidores en el mercado financiero. Su origen se relaciona, en gran medida, con la crisis económica global y su papel vital en la consecución de metas personales, familiares y sociales, así como en el impulso de la economía en su conjunto. Esto se traduce en cambios notables en el comportamiento financiero y los niveles de educación.

En [2] se menciona que la educación financiera involucra que los inversores y clientes financieros incrementen su comprensión de productos financieros, conceptos y riesgos. A través de la información, educación y orientación objetiva, se desarrollan habilidades y confianza para tomar decisiones informadas, identificar fuentes de ayuda y llevar a cabo acciones efectivas para mejorar su bienestar financiero.

En el contexto actual, la educación financiera, según [6] y [7], se manifiesta como una necesidad social, dado que las personas se enfrentan a conceptos financieros a lo largo de sus vidas. Esta educación abarca la administración de ingresos, gastos, ahorros, créditos, presupuestos e inversiones, con el objetivo de tomar decisiones financieras óptimas que permitan alcanzar metas y objetivos sin incurrir en endeudamiento innecesario ni costos superfluos [1].

La falta de conocimiento en gestión financiera se erige como un obstáculo fundamental que desincentiva a los jóvenes a adentrarse en el mundo del emprendimiento. Esto limita la toma de decisiones adecuadas en el ámbito empresarial y puede impactar negativamente en el rendimiento y operaciones de sus negocios.

La educación superior se ha convertido en una opción para muchos jóvenes en busca de mejores perspectivas económicas, debido a factores como salarios insatisfactorios, condiciones laborales precarias o la falta de empleo. Esto ha incentivado a los jóvenes del cantón Daule a considerar el emprendimiento como una vía viable, basándose en la formación adquirida durante su educación para satisfacer sus necesidades diarias y lograr su superación personal.

A pesar de que un grupo significativo de la población accede a la educación superior con el propósito de mejorar su calidad de vida y obtener empleos adecuados, es relevante destacar que son pocos los jóvenes que se vislumbran como futuros empresarios o gerentes de sus propias empresas. La falta de confianza y conocimiento financiero puede ser un factor determinante en esta percepción.

2.3 ASPECTOS Y CONCEPTOS QUE INTERVIENEN EN LA EDUCACIÓN FINANCIERA

La educación financiera aborda una serie de aspectos y conceptos fundamentales que desempeñan un papel crucial en la comprensión y gestión de las finanzas. Según Widdowson y Hailwood (2007), estos aspectos incluyen habilidades aritméticas simples, que son esenciales para realizar cálculos de rendimientos y comprender tasas que representan precios, especialmente en el contexto de la deuda. Además, la educación financiera implica comprender los beneficios y riesgos asociados con las opciones financieras, así como adquirir conocimientos sólidos sobre conceptos financieros básicos, como el riesgo, los ingresos, la diversificación, los productos financieros y el valor del dinero en el tiempo. También se resalta la importancia de reconocer cuándo es necesario buscar asesoramiento de profesionales en finanzas.

Otros autores reconocen conceptos adicionales, como la liquidez, la productividad, el financiamiento y la vida útil de los fondos. La liquidez se refiere a la disponibilidad de dinero en un momento determinado y su importancia en la gestión financiera. La productividad está relacionada con la capacidad de generar rendimientos a partir de los ahorros a través de productos financieros o actividades de inversión. El financiamiento implica el uso de recursos para lograr resultados óptimos y optimizar costos.

En cuanto a los conceptos financieros fundamentales, el ingreso se define como la renta o dinero disponible en un momento específico, que es una fuente de riqueza que debe mantenerse constante o tender a aumentar. Los gastos se dividen en diferentes categorías, como esenciales, opcionales, extraordinarios e imprevistos, y su gestión adecuada puede conducir a un ahorro efectivo. El ahorro implica destinar parte de los ingresos para garantizar futuras necesidades o inversiones, lo que puede aumentar la riqueza a través de la inversión o suavizar eventos inesperados. La inversión se relaciona con la asignación de ahorros para generar rendimientos a través de productos financieros o actividades que optimicen costos y mejoren la productividad.

La deuda se refiere al uso de fondos de terceros para adquirir bienes, como créditos y préstamos, y su gestión adecuada puede permitir la adquisición de activos a largo plazo. Sin embargo, una gestión irresponsable de la deuda puede llevar a problemas financieros, como morosidad y mal historial de pago.

El flujo de caja implica el movimiento de dinero y la liquidez en una actividad, lo que permite evaluar el uso de las ganancias y prever el presupuesto, así como gestionar los fondos generados por la actividad. La gestión de riesgos y contingencias se refiere a la previsión de eventos probables que pueden afectar los ingresos, la continuidad del negocio y los costos, y su identificación adecuada requiere una planificación y estudio exhaustivos.

En conjunto, estos aspectos y conceptos son fundamentales para la educación financiera y la toma de decisiones financieras efectivas.

2.4 CULTURA FINANCIERA

La cultura financiera se define como un conjunto de conocimientos, habilidades, respuestas y comportamientos que capacitan a las personas para administrar sus finanzas de manera efectiva. Una cultura financiera sólida facilita la recopilación

de información sobre productos financieros y permite un mejor control de los presupuestos tanto a nivel individual como en los hogares.

De acuerdo con [16], la cultura financiera se basa en la comprensión de prácticas y tradiciones financieras, aunque esta comprensión puede ser moldeada por el proceso educativo. En otras palabras, la cultura financiera engloba un conjunto de ideas, percepciones, reacciones, hábitos y normas que compartimos en relación con el dinero y las instituciones financieras. No obstante, es importante destacar que la cultura es el resultado de la experiencia acumulada a lo largo del tiempo, mientras que la educación financiera es un proceso de aprendizaje en constante evolución.

2.5 ANALFABETISMO FINANCIERO

El analfabetismo financiero representa un desafío social que ha persistido durante varios años y se caracteriza por la incapacidad de las personas para tomar decisiones informadas sobre su dinero y aplicar los conocimientos necesarios para administrarlo de manera efectiva. La falta de educación financiera refleja la dificultad de interpretar eventos que pueden impactar de manera directa o indirecta en las finanzas de las personas, así como la incapacidad para mejorar sus habilidades personales y sociales a la hora de tomar decisiones relacionadas con los aspectos económicos de su vida cotidiana.

Según [3], citado en [1], "La falta de educación financiera lleva a las personas a gastar en exceso, asumir riesgos innecesarios, subutilizar los ahorros, evitar inversiones y ser vulnerables al fraude, lo que perjudica a la sociedad en su conjunto". Por lo tanto, es imperativo desarrollar una educación financiera que se enfoque en la comprensión de los temas relacionados con las finanzas, de manera que los individuos puedan adquirir destrezas para tomar decisiones con confianza y lograr la máxima eficiencia en la gestión de sus inversiones y recursos económicos.

En [1] señala que una de las consecuencias de la falta de educación financiera es la incapacidad de las personas para cuantificar el impacto de la insolvencia financiera, lo que a su vez resulta en el descuido de sus derechos y obligaciones, especialmente en lo que respecta a la deuda. La falta de educación financiera también deja a las personas vulnerables al fraude y a la recolección de fondos ilegales. Además, dificulta la gestión adecuada del dinero asignado a gastos, ingresos y ahorros. La necesidad de abordar esta falta de educación financiera es evidente, ya que tiene un impacto significativo en la toma de decisiones financieras y en la estabilidad económica de las personas.

2.6 TOMA DE DECISIONES

La elección, de acuerdo con diversas investigaciones y enfoques teóricos, se puede definir como un proceso que implica la evaluación de alternativas, el juicio y, finalmente, la selección de una opción. En otras palabras, la toma de decisiones es la habilidad cognitiva de elegir, lo que conlleva un proceso que abarca el estudio, la clasificación, el juicio basado en probabilidades, la creación de alternativas y la elección misma.

Para [20], la toma de decisiones es un proceso intencional que involucra la revisión de información, la comparación de diferentes opciones, la evaluación de posibilidades y, en última instancia, la toma de decisiones.

Cuando hablamos de formación en el uso de procedimientos sistemáticos, nos referimos a la adopción de enfoques estructurados y coherentes con la disciplina científica, técnica o académica seleccionada. Esto implica la elección de la modalidad más adecuada de entre las previamente identificadas, considerando el impacto y las consecuencias de la elección. Los procedimientos sistemáticos se basan en la recopilación de datos de calidad, su verificación y la comparación con información de diversas fuentes. Es así que la toma de decisiones implica un proceso deliberado que combina la revisión de información, la comparación de opciones y la evaluación de posibilidades antes de tomar una elección. La formación en el uso de procedimientos sistemáticos es fundamental para tomar decisiones informadas y efectivas, basadas en datos y evidencia.

3 METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE CUANTITATIVO

En este trabajo de investigación, se ha optado por seguir un enfoque metodológico cuantitativo. Según [17], el enfoque cuantitativo se caracteriza por tratar con fenómenos que pueden medirse a través de técnicas estadísticas para el análisis de datos recopilados. Su principal objetivo radica en la descripción, explicación, predicción y control objetivos de las causas de estos fenómenos, así como la predicción de su ocurrencia a partir de su análisis cuantitativo. Esto implica la rigurosa medición y cuantificación en la recolección, procesamiento, análisis e interpretación de datos, todo ello a través del método hipotético-deductivo (p. 1).

Por lo tanto, en nuestro estudio, seguiremos el enfoque cuantitativo, utilizando métodos de recopilación de datos que nos permitirán tabular, analizar e interpretar la información recopilada. Además, utilizaremos investigaciones bibliográficas para fundamentar nuestras variables y así determinar el nivel de educación financiera que poseen los jóvenes a la hora de tomar decisiones en el desarrollo de emprendimientos en el cantón Daule.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación de campo, como [10] lo define, es también conocida como investigación directa, ya que implica que el investigador se traslade al lugar y momento en que ocurren los fenómenos objeto de estudio. En nuestro caso, este diseño nos permitirá caracterizar e identificar las razones que influyen en la toma de decisiones financieras y fomentar el espíritu emprendedor entre los jóvenes en el cantón Daule.

3.2.2 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Este diseño de investigación se centra en la obtención y análisis de datos a partir de materiales impresos y otros documentos. Para desarrollar nuestro proyecto de titulación, realizamos una búsqueda bibliográfica para obtener información relevante relacionada con nuestras variables y el problema que abordamos en este trabajo.

3.2.3 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

El alcance de nuestra investigación es principalmente descriptivo, siguiendo la definición de [4]. Este tipo de investigación se enfoca en la descripción de fenómenos sociales o educativos en un contexto temporal y espacial específico. En nuestro estudio, utilizamos este enfoque para describir las variables de investigación y los resultados que buscamos obtener, con el fin de identificar el impacto causado por la falta de educación financiera en la toma de decisiones de los jóvenes emprendedores en el cantón Daule.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.3.1 CUESTIONARIO

Para la recopilación de datos, utilizaremos un cuestionario. Según [11], un cuestionario es un conjunto de preguntas relacionadas con una o más variables que se van a medir (p. 217). A través de la aplicación de este instrumento, podremos caracterizar los factores que influyen en la falta de educación financiera y las razones que afectan la toma de decisiones financieras de los jóvenes en el cantón Daule.

3.4 MÉTODO ESTADÍSTICO PARA EL ANÁLISIS

El análisis de datos se llevará a cabo utilizando el método estadístico, que nos permitirá presentar los resultados en gráficos y tablas para facilitar la comprensión de la información recopilada a través del instrumento de evaluación aplicado a los jóvenes emprendedores del cantón Daule.

3.5 UNIDAD DE ANÁLISIS, POBLACIÓN Y MUESTRA

Según [11], la población se define como el conjunto de personas u objetos de interés en una investigación. En el cantón Daule, existen alrededor de 150 emprendimientos liderados por jóvenes.

Para determinar la muestra de la población, utilizamos un método de muestreo no probabilístico. Elegimos una muestra de 200 jóvenes que han iniciado un negocio en el último año, aplicando criterios de inclusión y exclusión. Estos jóvenes constituyen las unidades de análisis en nuestro trabajo de investigación y serán evaluados a través del instrumento diseñado para describir la influencia de la educación financiera en sus decisiones financieras y emprendimientos en el cantón Daule.

3.6 RESULTADOS

El siguiente análisis de los resultados corresponde al cuestionario realizado y el cual se detalla a continuación:

PREGUNTA 1. ¿CUÁL ES EL GRADO DE ESTUDIO QUE UD. TIENE APROBADO?

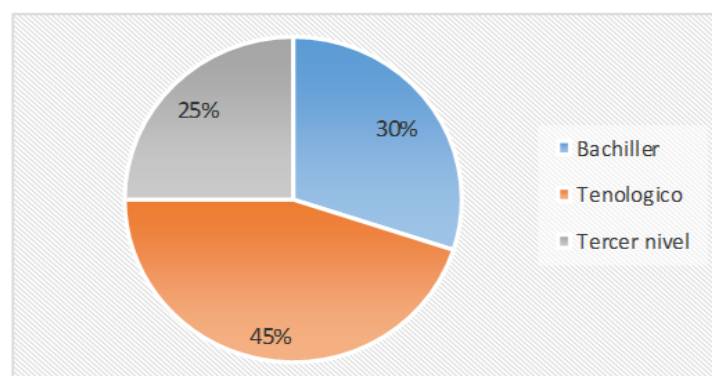


Gráfico 1. Grado de Escolaridad

Elaborado por: Autores

Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

En relación con los resultados que se presenta en la gráfica 1, muestra que el 45% de los jóvenes del cantón Daule tiene una escolaridad terminada con el título de tecnología, por ende, un 30% solo el bachiller y un 25% tienen un título de tercer nivel. Siendo de esta manera y llegando al análisis que en su gran parte los jóvenes han culminado con el nivel tecnológico y en base a sus conocimientos y destrezas han creado un emprendimientos en su cantón.

PREGUNTA 2. ¿HA TOMADO ALGUNA VEZ ESTRATEGIAS INFORMATIVAS SOBRE FINANZAS?

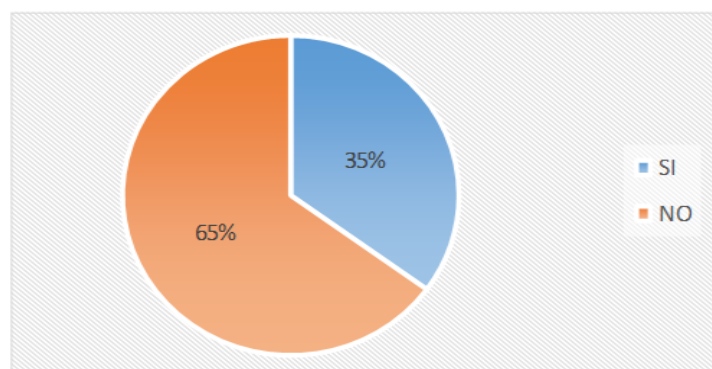


Gráfico 2. Estrategias informativas

Elaborado por: Autores

Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

Con relación a los resultados que se presentan en la gráfica 2, se logra percibir el 65% de los jóvenes del cantón Daule con un tiempo menor de un año en su emprendimiento no han tomado alguna vez un curso de capacitación financiera. Por lo tanto, solo el 35% si lo ha recibido. De tal modo, se llega al análisis que los emprendedores no se capacitan en ningún ámbito sobre como poder administrar sus recursos económicos para el desarrollo de su emprendimiento.

PREGUNTA 3. ¿CREE USTED QUE UNA ADECUADA EDUCACIÓN FINANCIERA AYUDARÍA A MEJORAR LOS FONDOS RECAUDADOS EN SU EMPRENDIMIENTO?

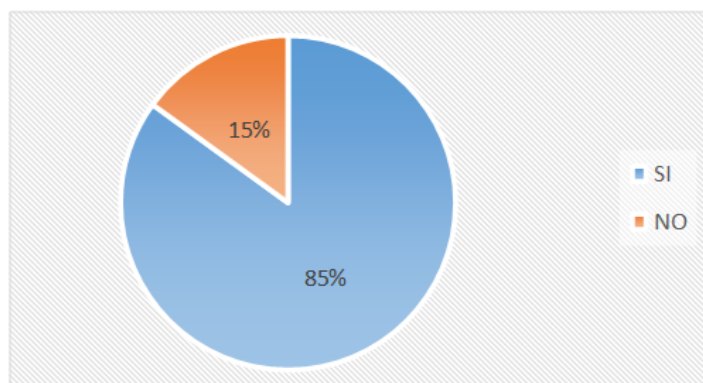


Gráfico 3. Educación financiera ayuda al emprendimiento

Elaborado por: Autores

Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

En la gráfica 3, se logra evidenciar que en base al instrumento aplicado se obtuvieron resultados donde el 85% de los jóvenes del cantón Daule consideran que una educación financiera ayudaría a mejorar los fondos recaudados en cada emprendimiento. De tal modo, el 15% no estima adecuado realizar aquello para sus negocios que están emprendiendo. Por lo tanto, se logra analizar que los emprendedores si estiman y consideran que al recibir una educación financiera idónea para sus emprendimientos estarían potenciando sus fondos que recaudan en el desarrollo en el año que llevan en curso.

PREGUNTA 4. ¿QUÉ TEMAS LE GUSTARÍA RECIBIR EN LAS ESTRATEGIAS INFORMATIVAS?

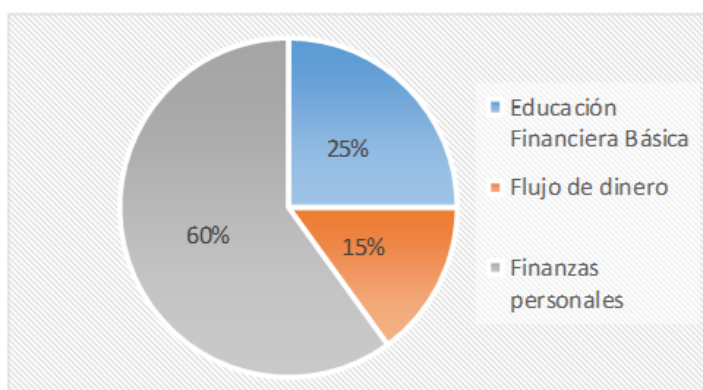


Gráfico 4. Temas para recibir en estrategias informativas

Elaborado por: Autores

Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

De acuerdo con los datos que se expresan en la gráfica 3, como también en el gráfico 4, se logra percibir que el 25% de los jóvenes del cantón Daule con un emprendimiento menor de un año están interesados en recibir en las estrategias en base a la educación financiera. Por otro lado, el 15% señala que prefieren recibir en las estrategias informativas sobre flujo de dinero y el ultimo 60% indica que se interesa por temas de finanzas personales. De la modo, se llega al análisis que los jóvenes prefieren aprender sobre finanzas personales siendo este el propósito del desarrollo del trabajo en crear estrategias informativas.

Además de querer conocer sobre otros temas que también se relacionan con el manejo de los recursos económicos para el desenvolvimiento en algún emprendimiento de manera idónea y eficiente.

PREGUNTA 5. ¿TIENE USTED HÁBITO DE AHORRO?

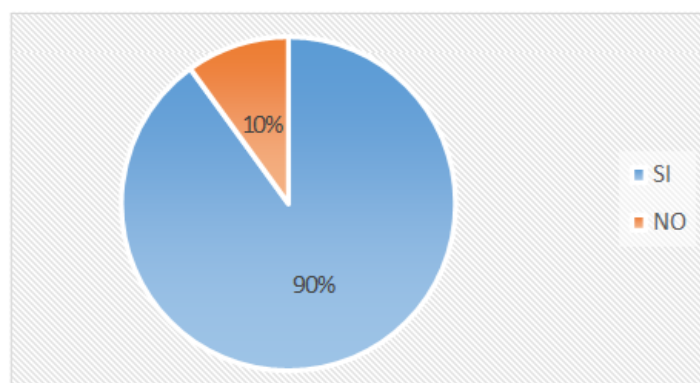


Gráfico 5. Ahorro

Elaborado por: Autores
Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

En relación con los resultados de la gráfica 5, se evidencia que el 90% de los jóvenes del cantón Daule tienen un hábito de ahorro para sus emprendimientos. Por otro lado, solo el 10% de los jóvenes que participaron en la aplicación del cuestionario no tiene hábito de ahorro. De tal forma, se logra analizar que los jóvenes con un emprendimiento menor de un año tienen el hábito de ahorro que aquello apunta tener un dominio y control sobre los recursos que de una y otra manera estos ahorros podrían salvar alguna necesidad que el negocio o emprendimiento tenga o llegue a tener.

PREGUNTA 6. UD TOMA LA DECISIÓN DE ¿CUÁL ES LA FORMA DE AHORRO QUE UTILIZA?

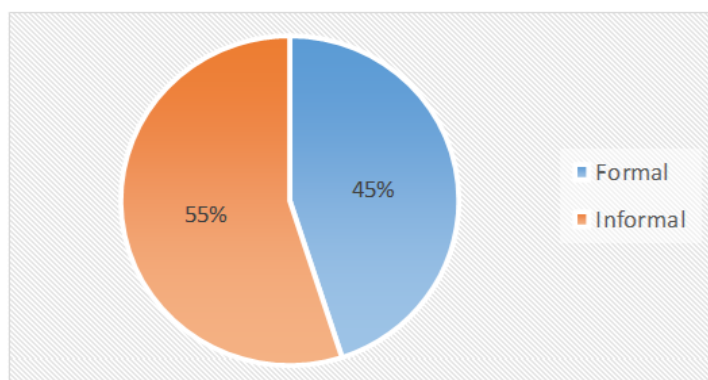


Gráfico 6. Forma de ahorro

Elaborado por: Autores
Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

De acuerdo con los resultados que se muestran en la gráfica 6 se logra percibir que el 45% de los jóvenes utilizan la forma informal como ahorro en casa para como método que utiliza para ahorrar su dinero. Por otro lado, el 55% utiliza las entidades financieras para ahorrar su dinero. De esta forma, se logra analizar que de acuerdo con la idiosincrasia del cantón los jóvenes en este caso los emprendedores prefieren ahorrar el dinero en sus hogares puesto que son aquellas costumbres que se ha ido

transcendiendo cada década. Por otro lado, un cierto porcentaje si hace uso de las entidades financieras para ahorrar puesto que es seguro dependiendo de la empresa bancaria que el dinero se ahorre a pesar de que el ahorro informal prevalece en los jóvenes con emprendimientos en el el cantón Daule.

PREGUNTA 7. UD. TOMA LA DECISIÓN DE ¿QUÉ MEDIOS UTILIZA O UTILIZARÍA PARA AHORRAR?

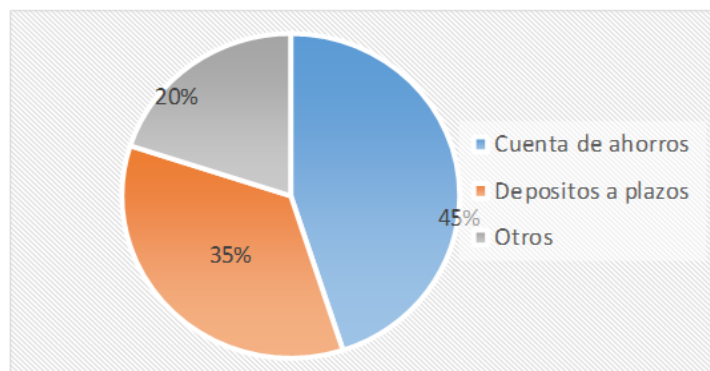


Gráfico 7. Medio de ahorro

Elaborado por: Autores

Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

En relación con los resultados que se presenta en la gráfica 7 se muestra que el 45% de los jóvenes del cantón Daule utilizan o utilizaría como medio de ahorro usar una cuenta de ahorro de alguna entidad financiera. Por otro lado, el 20% hace usos de otros medios para ahorrar, cabe recalcar que hay solo un 35% que realizaría o realiza depósitos a plazos para ahorrar de esta manera. Por lo tanto, se llega al análisis que prevalece el uso de las cuentas de ahorros por entidades financieras puesto que es seguro usar este medio para ahorrar.

PREGUNTA 8. ¿USTED SABE QUE ES UNA TASA EFECTIVA?}

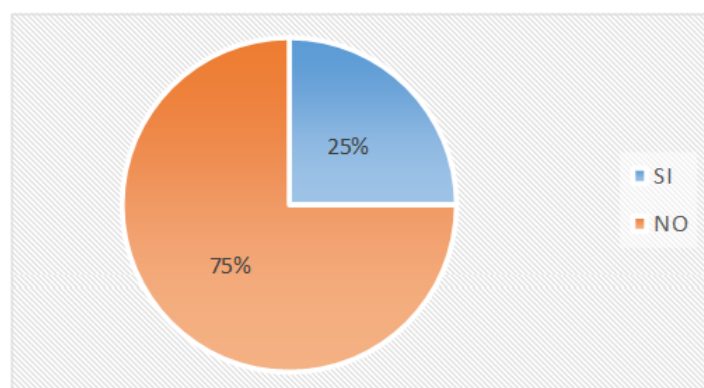


Gráfico 8. Tasa efectiva

Elaborado por: Autores

Fuente: Aplicación del cuestionario

ANÁLISIS

Como se evidencia en la gráfica 8, se tiene resultados donde el 75% de los jóvenes del cantón Daule no tienen conocimiento sobre lo que es tasa efectiva. Por otro lado, el 27% de los jóvenes que tienen un emprendimiento menos de un año si saben lo

que es una tasa efectiva. Por lo tanto, se logra llegar al análisis que, al no conocer lo que es la tasa efectiva los jóvenes emprendedores no toman en cuenta el interés que se genera o se aplica durante el tiempo determinado que realizan un préstamo o ahorran un dinero. Es por ello por lo que la educación financiera cae en alta relevación ejecutar capacitación para evitar que los recursos económicos del emprendimiento no decaigan sus resultados.

4 CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones se ha logrado conocer el nivel de educación financiera de los jóvenes emprendedores con menos de un año de experiencia en el cantón Daule, a través de la aplicación de un cuestionario diseñado específicamente para este propósito. Este cuestionario nos ha ayudado a identificar sus hábitos de ahorro, su comprensión de las tasas efectivas y su conocimiento sobre préstamos.

Además, hemos identificado factores que influyen en la educación financiera de los jóvenes en el cantón Daule. Uno de estos factores es su nivel de escolaridad, ya que muchos de ellos no han recibido capacitación o formación en temas financieros. También hemos observado que debido a la falta de acceso a entidades financieras, los habitantes del cantón a menudo recurren a préstamos informales, sin comprender completamente las ventajas y desventajas que esto conlleva.

Otra conclusión importante es que el desconocimiento en cuestiones financieras ha tenido un impacto significativo en el desarrollo de los emprendedores jóvenes en el cantón Daule. La falta de un hábito de ahorro adecuado ha llevado a muchos de ellos a recurrir a préstamos con prestamistas informales, sin comprender las tasas efectivas involucradas, lo que ha tenido un efecto negativo en el desarrollo eficiente de sus emprendimientos.

En última instancia, la investigación nos lleva a la conclusión de que es necesario diseñar un plan de capacitación en educación financiera que proporcione a los emprendedores jóvenes del cantón Daule los conocimientos esenciales para una gestión financiera efectiva de sus emprendimientos. Este enfoque podría contribuir significativamente al desarrollo sostenible de los emprendedores en la región.

RECOMENDACIONES

- Implementar una estrategia informativa sobre educación financiera para los jóvenes emprendedores de Daule, proporcionándoles conocimientos esenciales para la toma de decisiones financieras responsables.
- Desarrollar un seguimiento trimestral de los emprendedores capacitados en educación financiera para evaluar su crecimiento y aplicación de conocimientos.
- Ofrecer cursos y capacitaciones financieras a la población económicamente activa para mejorar sus habilidades financieras y calidad de vida.
- Educar a las generaciones futuras en la cultura del ahorro para asegurar su seguridad financiera y aprovechar oportunidades económicas.

REFERENCIAS

- [1] Atuesta, G. (2017). La educación financiera en preadolescentes y el analfabetismo financiero en Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/16089>.
- [2] Blanco, H. M. T. (2015). La importancia de la educación financiera y su influencia en los futuros estudiantes de Administración y Dirección de Empresas. *Anuario jurídico y económico escurialense*, (48), 381-400.
- [3] Campos, G., & Martínez, N. E. L. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 7 (13), 45-60.
- [4] Cauas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. Bogotá: biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia, 2, 1-11.
- [5] Constituyente, E.A. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.dpe.gob.ec/bitstream/39000/638/1/NN-001-Constituci%C3%B3n.pdf>
- [6] Cruz, V. B. G. C., Díaz, N. J. C., y Céleri, Z. M. N. (2016). Educación financiera. *Revista Publicando*, 3 (9), 740-751.
- [7] El Universo. (2018). Ecuador con una alta tasa de emprendimiento sénior | Economía | Noticias El Universo. Retrieved December 4, 2018, from *ECONOMÍA* website: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/04/05/nota/6698389/ecuador-alta-tasa-emprendimiento-senior>.
- [8] García, E. L. A., Grant, M. G. A., y Mejía, F. E. (2014). Contexto de la educación financiera en México. *Ciencia administrativa*, (1), 21-30.
- [9] Girón, H. C., Villanueva, J., & Armas, R. (2017). Determinantes de la quiebra empresarial en las empresas ecuatorianas en el año 2016. 3 (13), 111-115.

- [10] Grajales, T. (2000). Tipos de investigación. On line) (27/03/2.000). Revisado el, 14.
- [11] Hernández, S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. McGrawHill Education. Impreso en México.
- [12] Macías Bedoya, J. M., y Rivera Ruales, M. E. (2018). El nivel de analfabetismo financiero en los hogares del sector urbano del cantón Coronel Marcelino Maridueña.
- [13] Marriott, J. L. (2015). Factores determinantes del fracaso empresarial en el Ecuador, en pequeñas y medianas empresas durante los cinco primeros años de su creación. 1.
- [14] Morán, M. M. S. (2021). Educación financiera y tributaria en emprendimientos del cantó Quinindé (Tesis de Pregrado, Ecuador-PUCESE-Escuela de Contabilidad y Auditoría). <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2298>.
- [15] Polania, F., Suaza, C., Arévalo, N., y González, D. (2016). La cultura financiera como el nuevo motor para el desarrollo económico en Latinoamérica [Tesis de especialización, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/8951>.
- [16] Rodríguez González, L. A., & Arias Ballesteros, A. (2018). Cultura financiera, análisis del comportamiento y toma decisión. https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercio/198.
- [17] Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. Revista digital de investigación en docencia universitaria, 13 (1), 102-122.
- [18] SBS. (28 de agosto de 2010). Código de derechos del usuario del sistema financiero. Obtenido de http://www.sbs.gob.ec:7778/practg/sbs_index?vp_art_id=625&vp_tip=1.
- [19] Tabi F. L. R. (2020). Educación financiera en los emprendimientos (Tesis de ingeniería comercial). 02 ICO 730 TRABAJO GRADO.pdf (utn.edu.ec)
- [20] Forest R. David, F. R. (2017). CONCEPTOS DE ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA 15ED. México: Editorial Pearson Hall.

Blockchain for Peer-to-Peer Insurance: Design and implementation of a P2P Insurance application using smart contracts

Saad Slaoui Hasnaoui and Hafid Barka

Research Team in Economics and Management of telecommunications and information technologies,
National Institute of Posts and Telecommunications, Rabat, Morocco

Copyright © 2024 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 investigates the feasibility of designing a comprehensive insurance solution without the involvement of insurers or intermediaries. The study begins by the introduction of the blockchain and smart contract concept and their transformative potential on many sectors, of which the insurance market. A novel Peer-to-Peer home insurance model using the parametric concept is presented, answering a real-world issue. To validate the concept, the model is realized on an Ethereum blockchain testbed. Results of the demonstration reveal the feasibility of the solution and the potential of this type of application to streamline insurance processes, enhance transparency, and reduce reliance on intermediaries. This article contributes to the ongoing evolution of the insurance by examining the paradigm shift from centralized to decentralized models. And by addressing the ability of blockchain and smart contracts to realize this shift.

KEYWORDS: blockchain, smart contract, P2P insurance, parametric insurance.

1 INTRODUCTION

Bypassing central agencies and intermediaries was always the biggest ambition of Blockchain initiators and pioneers. In fact, bitcoin itself has been created mainly to use a form of a currency without the intervention of a central bank. This leads to a new economy based on decentralized finance.

For insurance sector in particular, many applications of the decentralized economy are under development, but the biggest disruption would be a fully Peer to Peer insurance product used in large scales.

But can we really design insurance products without insurers or intermediaries? Are there any useful cases of this type of product? What are the technological choices to implement those products?

In this article and to answer the questions above, I will first explain Blockchain technology and it's potential, then introduce the concept of smart contracts. Then I will discuss the applications under development of these two technologies in the insurance sector. Among which applications of P2P insurance, and parametric insurance.

Afterwards, I will propose a P2P insurance model for a home insurance without a central organization (insurer). The demonstration of the model will be run on the Ethereum testbed. Finally, I will discuss the results of this demonstration, and the prospects and limitations of this type of insurance.

2 THEORETICAL FOUNDATIONS: STATE OF KNOWLEDGE

2.1 BLOCKCHAIN: A REVOLUTIONARY TECHNOLOGY

Blockchain is a relatively recent technology, developed in the last decade, yet it is so promising that its transformative potential has been compared to that of the Internet in the 90s-2000s [1].

Blockchain can simply be defined as a distributed ledger that enables several distinct entities connected to a network (e.g., the Internet), to exchange value in a secure way. The best-known example of this exchange is crypto-currency (bitcoin is the most widespread of all).

Major characteristics that clearly distinguish this technology from other existing distributed connection protocols are [2]:

- Trust is ensured by the protocol and robust encryption technologies, and not by a third-party entity (i.e. bank, notary, state entity...).
- Transfer of Value: Until now, Internet technology has enabled the free exchange of information: files, music, audio... Using Internet Applications (email, ftp...), only the copy of the digital content is distributed, not the original. On the other hand, the blockchain enables the transfer of items holding value such as money, votes, property titles...
- Immutability and Transparency: Once a transaction is recorded on the blockchain, it becomes impossible to alter it or tamper it. Each new block in the chain contains a cryptographic hash of the previous block, creating a permanent and transparent record of all transactions. These characteristic increases trust and enable audibility, making the blockchain ideal for applications like supply chain management, voting systems, and financial transactions.
- Security: Blockchain utilizes advanced cryptographic algorithms to secure transactions and data. Transactions are validated and added to the blockchain through consensus mechanisms such as Proof of Work (PoW) or Proof of Stake (PoS), which require significant computational power or stakeholder participation. This makes it extremely difficult for malicious actors to manipulate or corrupt the blockchain.
- Potential for Disruptive Applications: The revolutionary nature of blockchain lies in its potential to disrupt various industries. By providing a secure and transparent platform for trusted transactions, blockchain can transform industries such as finance, healthcare, supply chain, real estate, voting, intellectual property, and more. It enables new business models, fosters innovation, and empowers individuals by granting them greater control over their data and assets.

While blockchain technology is still evolving, its revolutionary potential stems from its ability to redefine trust, security, and decentralization in a wide range of applications. However, it's important to note that the technology is not without limitations and challenges [2], including scalability, energy consumption, regulatory considerations, and integration with existing systems.

2.2 SMART CONTRACTS

Among the biggest applications of blockchain technology, the smart contracts have a special place especially in some industries and sectors.

The term "Smart Contracts" was first used in 1994 by Nick Szabo, a computer scientist specializing in cryptography. He described this concept as follows: "A set of promises, specified in digital form, including protocols within which the parties perform on these promises [3]. Aaron Wright and Primavera de Filippi provide in 2015 the following definition "digital, computable contracts where the performance and enforcement of contractual conditions occur automatically, without the need for human intervention" [4].

The vending machine illustrates for Nick Szabo the first practical example of an intelligent contract. Indeed, the machine executes a very simple contract: when the user inserts a coin corresponding to the price of a soda, for example, the machine fulfills its part of the contract and dispenses the requested product. Conversely, if the consumer introduces less money than requested, the machine does not dispense the product and returns the coin.

Apart from articles written by Nick Szabo and a few other scientists in the 1990s, the interest in this concept has been very low for a long period, mainly due to the absence of a technology to support its implementation. The advent of bitcoin in 2008 [5], and mainly the underlying blockchain technology, revived the interest in this concept. Few years after the bitcoin, a specific blockchain platform customized for smart contracts have been developed by Vitalik Buterin: The Ethereum [6].

In parallel, several ecosystems and consortia have been formed to develop "Smart Contracts", often around a particular industry: for example, the consortium (Etherisc, n. d.) for insurance. These consortia bring together manufacturers, developers, and legal experts, who work together to develop and promote practical development cases.

2.3 P2P INSURANCE: OR COLLABORATIVE INSURANCE

In Peer-to-Peer insurance (or social/collaborative insurance), a group of individuals or homogeneous entities agree to share a common risk. Everyone in the group is both insured and insurer. The use of the Blockchain ensures trust between the parties, and smart contracts ensure the management and execution of the terms and agreements between the parties. The majority

of the startups that penetrated this market use most often a hybrid model that applies the principles of P2P but still uses traditional insurers, with the following model:

- Each member pays a premium, a percentage of the pot (often over 50%) is reserved for settling incurred claims that are approved by the majority of members (automatic approval using the consensus mechanisms of blockchain).
- The remaining percentage of premiums in the pot is allocated to subscribe a policy with a classic insurer to cover the biggest risks (like reinsurance concept).

The compensation of the startup is thus made up of brokerage commissions generated by the placement of these complementary insurances, in other models the compensation may also include a small percentage of the initial premiums paid by the members.

At the end of each period, these startups generally distribute the remaining profits in the pot to the contributing members (this is why it's sometimes called a social insurance).

Several startups have started this type of insurance since Friend assurance in Germany, which is considered by many as a pioneer in this field. We can mention for example lemonade in the United States or Teambrella (the first P2P insurance using bitcoin).

2.4 PARAMETRIC INSURANCE

In the context of a parametric insurance, the coverage is based on the use of one or more indices that are correlated with the damages suffered by the clients. For example, A farmer may experience loss of income from a certain level of drought, he is then compensated directly when the level of rain falls below a certain threshold, independently from the real damages that he experienced.

During the execution of the contract, advanced technologies, such as connected objects (IoT), satellite imagery, radar or sonar, are used to monitor and measure the contract parameters/indices. Once the threshold predefined in the contract is triggered, the compensation intervenes systematically. The amount of the compensation is fixed and known in advance by both parties.

From this definition, it appears clearly that the determining element of the success of this coverage model is the parameter used for each case. These indices must validate several criteria to be retained, mainly the ease of measurement and the reliability of the data collected. And it is precisely for these reasons that it is best to use external data providers or trusted third parties called "ORACLES".

The advantages of this solution are obvious, starting with:

- The simplicity of use and thanks to new technologies such as connected objects for measurement and smart contracts for automation of the process.
- Expert firms will no longer have to carry out missions within the framework of this insurance model, because compensation does not depend on the evaluation of losses. This will result in cost savings and faster claims handling.
- Limiting fraud: with this model, the possibilities of classic fraud are virtually eliminated since it would be useless to falsify or inflate a loss...

On the other side, the main drawback is the accuracy of the correlation between the used threshold and the actual losses of the insureds. In some cases, an insured who realizes a huge operating loss cannot claim compensation because the index was not triggered. The opposite is also possible when an insured - having suffered no loss - is compensated following the triggering of an index. Moreover, the parametric insurance can be costly to set up, especially to pay reliable data providers or to invest in proprietary solutions to acquire data that is unavailable from providers.

Until now, this insurance model has been closely linked to climatic events, for obvious reasons. Indeed, the sources of meteorological data are available, reliable, and abundant enough to be used in this type of insurance. On the other hand, the sector of activity that depends the most on climatic variations is agriculture. It is therefore normal that most solutions currently developed around this concept cover first the damages caused by the weather on the primary sector of the economy. Among global insurers, we can mention the following platforms: POP STORM from Swiss RE, One Cat from Munich RE or AXA Climate. Startups such as FloodFlash, Arbol market or Blink parametric are also exploiting this niche. However, the opportunities of the parametric insurance go beyond the protection against the unleashing of nature. Sectors such as renewable energies, infrastructures, the health sector, tourism... are promising to create new insurance and innovative solutions.

2.5 P2P PARAMETRIC INSURANCE AND SMART CONTRACTS

In previous paragraphs, we have reviewed the definition of P2P and parametric insurance products as well as the smart contract as a technological concept. In this paragraph we will review the literature regarding the combination of the two worlds to use the smart contracts in the P2P parametric insurance development. In fact, this type of product has been identified early as a use case for smart contracts. Mainly because the latter is a self-executing program that enforces the terms of a contract.

Several studies have demonstrated the potential benefits of using smart contracts in P2P parametric insurance, [7] shows that Smart contracts can reduce the need for intermediaries, resulting in lower costs and increased efficiency. And [8] demonstrated in their thesis research that the use of this type of contracts provides greater transparency and accountability, as all parties involved can see and track the execution of the contract.

Other published studies explored the use cases of smart contracts in P2P parametric insurance. For example, a study [9] looked at the particular use case for affordable products to Indian farmers found that the use of smart contracts greatly improves the efficiency and transparency of the platform. Another study [10] investigated the use case for natural disasters in Europe and found that the platform was able to provide payouts quickly and accurately using smart contracts.

On the other hand, several challenges and limitations need to be addressed before we can see this evolution as a mainstream in the industry. One of these limitations is compliance with regulations. The insurance sector is known to be highly regulated for good reasons, and Morocco is not an exception to this fact. Smart contract may not align yet with existing laws and regulations [11]. Risk management is also high for the use of smart contracts, the DAO hack that resulted in the loss of millions of dollars is a good example of those risks [12]. Finally customer adoption needs to be taken seriously, as customer education and trust in the technology are not there yet [13]

According to the review above, we can conclude that blockchain and smart contracts can potentially disrupt the industry and facilitate the rise of the P2P parametric new products in the market. Thanks to the several benefits listed earlier. However, further studies need to be carried to test the use cases of this technology in real-world applications and address also the challenges associated with it.

3 EXPERIMENTAL STUDY AND RESULTS

3.1 THE PROPOSED APPLICATION: A P2P COLLABORATIVE HOME INSURANCE

The experiment used in this study tries to answer a real-world issue. let's take a touristic village in the north of Morocco of a hundred houses. The owners of these houses are from other cities in Morocco and use their secondary residences -either for rent or own use - only 2 months a year. During the 10 months when the house is uninhabited, maintenance is usually very poor and the owners face several problems, one of them is the damage due to water leaks in their houses. The consequences of this problem are often an excessive energy bill, damage to the furniture and installations, and sometimes loss of expected revenues during the peak season.

To overcome this issue, of course they can subscribe to home insurance with classic insurers, but the problem is that the latter consider secondary residence as higher risk for the reasons explained earlier and thus ask for high premiums or simply decline the coverage. In the case of acceptance of this risk by the classic insurer, the settlement of claims is subject to several conditions that are hard to satisfy by the insured. The result is that many of them are not covered by any insurance and face possible damages with their own means.

To avoid those constraints, I propose a collaborative Peer to Peer (P2P) insurance without insurers, managed in a completely digitalized way using blockchain and smart contracts. The simplified model for this application is shown below:

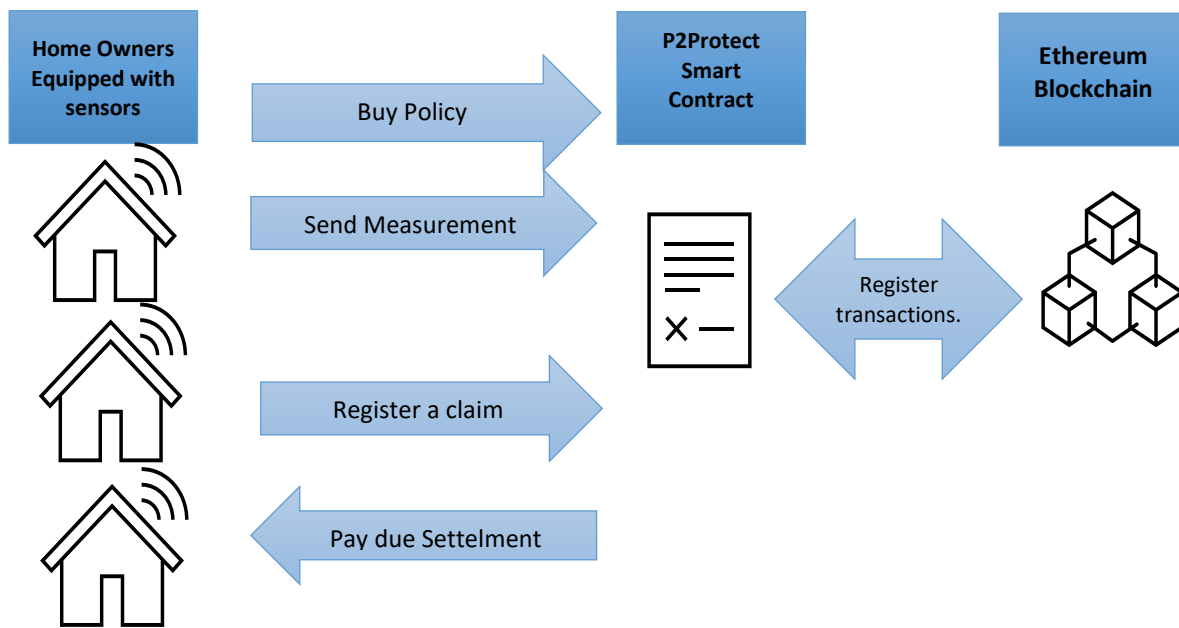


Fig. 1. High Level Model for P2Protect application

Each insured/Homeowner is equipped with two smart sensors, the first one installed within the Water company counter in each house to determine if the water consumption is excessive compared to normal, the second is installed in the floor to detect the presence of a certain amount of water. The measurements from those two sensors are used as criteria to determine the existence of leakage of water at the inhabitant's house. And therefore, the eligibility to the settlement.

The compensation is in the form of a flat rate according to the severity of the leak. These levels are reviewed each period for adjustments to the actual damage.

In order to implement this type of contracts the following steps must be conducted:

- Analysis and Identification of contractual elements: Stakeholders identify the opportunities for cooperation between them and the expected outcomes of that cooperation. For the case of home insurance, it is necessary to identify the value to be insured, the process of claims assessment and validation, the process of money transfer, and the distribution of premium excess at the end of contract.
- Determining the conditions of execution: smart contracts are initiated by the realization of certain conditions: for example, the underwriting of a new membership/policy, claim declaration...
- Programming the contract logic: A computer program is written in such a way that the arrangement is executed automatically when the conditional parameters are met.

After encryption, the contract is registered in the blockchain so that it can be executed. Once this step is done, all participants of the concerned blockchain network (network computers) update their registers to reflect this execution. No changes are possible after that.

3.2 TECHNICAL CHOICE FOR THE DEVELOPMENT OF THE SOLUTION

As for any Web 3.0 development in general, before coding our solution, it is particularly important to make several technological choices that will be crucial in the future for the evolution or modification of the solution. The most important selections that we should perform are: the blockchain platform, own Node or Node provider, The wallet for crypto money, the coding language for both the back end and for the front-end application, and finally the environment of the development.

3.2.1 THE BLOCKCHAIN PLATFORM: ETHEREUM VS HYPERLEDGER

Both Ethereum and Hyperledger are blockchain platforms that are widely used to develop smart contracts and Dapps (decentralized applications). For our application we have chosen Ethereum mainly because it's a public blockchain platform that is designed to be decentralized and open to all. While Hyperledger, is a private or permissioned blockchain platform, where only approved participants can access the network and participate in transactions [14].

The Ethereum also offers a possibility to deploy real solutions and applications in Blockchain testbed that has the same functionalities except that the used token has no real value. The P2Protect is deployed on the GOERLI Ethereum <https://goerli.etherscan.io/>.

3.2.2 OWN NODE VS NODE PROVIDER

Once the blockchain platform is chosen, we need to decide whether to deploy our own node or use an external provider. For the first option, we need to install the EVM (Ethereum Virtual machine) in our computer and run a normal Ethereum node on the network. This gives us full control over the node and the data it processes, making it more secure and trustworthy. The second option is to host the node in a provider (similar to hosting a website in an external server in Web 1.0 or Web 2.0 development).

According the official Ethereum documentation (Nodes as a service, ethereum.org), using the second option while it's not giving full control over the data, it gives the advantage to focus on building your product rather than managing the nodes and worrying about the maintenance of the infrastructure.

For this reason, we have chosen to use one service provider called Alchemy (Alchemy, s.d.) for its reliability and functionalities. Of course, for an industry grade application or to scale the application, this choice can be reviewed according to new needs [16]

3.2.3 WEB3 WALLET

Although it's possible, to interact with the blockchain without a wallet, but having one is the more common and convenient, as it provides users with greater control, security, and privacy for their digital assets [17]. We have chosen for this test, the most popular one: MetaMask.

3.2.4 BACK-END PROGRAMMING LANGUAGE

the backend application code for a smart contract on Ethereum is written in Solidity, [18] which is similar to JavaScript, and allows developers to specify the rules and conditions under which the contract executes. The code defines the variables, functions, and events that make up the contract's behavior, as well as the conditions under which the contract can be initiated, modified, or terminated. Any other scripts needed by the applications but not related to Ethereum blockchain, can be written simply with JavaScript.

3.2.5 ETHEREUM DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Before choosing a smart contract development environment, it is crucial to understand the specific needs of the developers. For beginners looking to write smart contracts in Solidity, Remix -an Ethereum-compatible IDE (integrated development environment) - is a suitable option for compiling, and debugging the code [19] However, as smart contract complexity grows, it is necessary to use an efficient testing and deployment tool.

Remix IDE has limitations such as the need to manually copy the ABI (Application Binary Interface) code of smart contracts, which is an interface between two program modules [18]. In contrast, the development environment such as Hardhat and Truffle automate this process and offer a more flexible and configurable development environment. For this application, we chose Hardhat due to its range of plugins and features that can improve development efficiency [20].

Hardhat allows for easy setup, compilation, testing, and deployment of smart contracts while also providing built-in support for other popular Ethereum testing networks. Furthermore, it integrates seamlessly with other development tools such as React, which we used for our front-end applications.

3.2.6 FRONT END DEVELOPMENT

The development of this section is identical to Web2 development, and thus, the interface used to interact with smart contract would be similar in any point to any other interface used to interact with centralized systems (i.e., a classic insurer website for example). The simple interfaces developed in these applications used the popular front-end libraries: REACT.Js.

3.3 DESCRIPTION OF THE APPLICATION

3.3.1 FRONT-END

It's the client interface, where the members will subscribe to the insurance products as well as getting their claims the compensation. Three simple pages have been developed on the client side:

A home page: this page contains three parts:

- A link to the subscription page, for new members or renewals.
- A link to claim a loss and receive the indemnity.
- A link to the explanation of the P2Protect service.

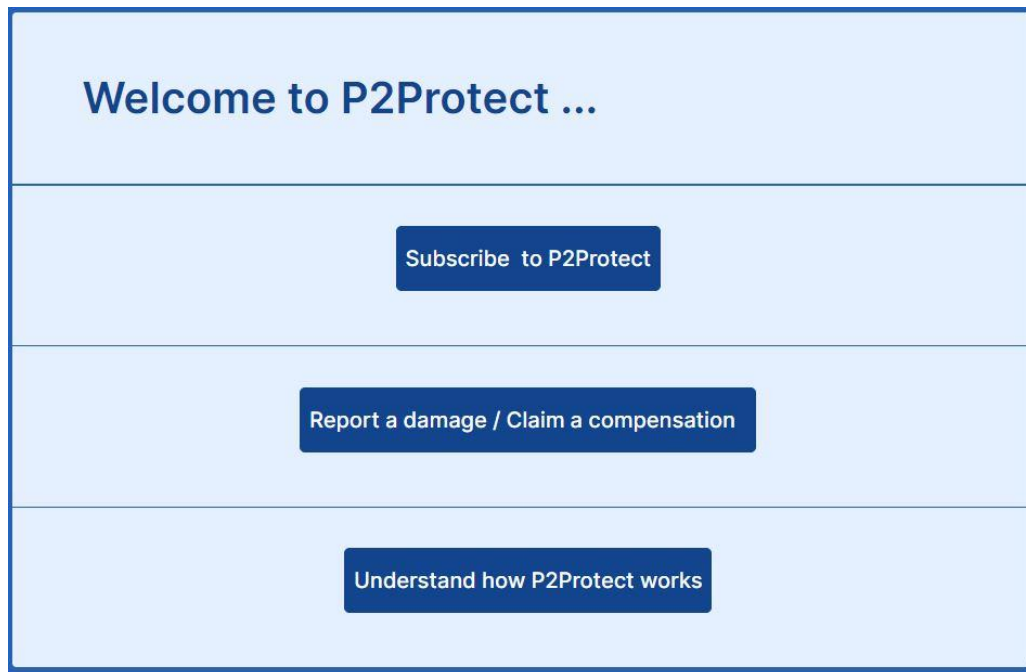


Fig. 2. Home page of the P2Protect application

A subscription page: the member enters in this page the necessary elements for the contract, namely:

- Name and first name of the member.
- The telephone number and the email address for communications with the insured.
- The choice of the level of coverage: basic or premium. For test purposes, only two choices have been proposed, but we can normally have several options, each level gives the right to a compensation package in case of claim. Obviously, the premium to be paid depends on the chosen level.
- Sensor number: very important information because it identifies the sensor that will provide the daily measurements to the smart contract. The application is fed with all the sensor numbers of the residents, the new member will have to choose from a list.
- And finally, the portfolio ID of the member: this important information will be used during the subscription for the transfer of money from the customer account to the smart contract account (Pool Account), it will also be used to pay the indemnity in case of a verified claim.

Once the client fills in the form, two action buttons are proposed:

- Calculate: The result is the amount of the premium to be paid according to the choices of the customer.
- Subscribe: once the customer clicks on this button, he buys the insurance, and receives an email containing the insurance certificate with all the details of the contract and the validity period.

The smart contract deployed on the blockchain is then updated with the new insurance and money is transferred from the member's account to the wallet of the P2Protect Contract.

Fig. 3. P2Protect Subscription Page

A claim Page: in this form the customer must provide only two pieces of information:

- The number of the sensor
- The date of the claim

Once the customer submits this form, the application will use the provided information to verify the validity of the claim according to the contractual elements. To make this verification, the application check, first, the existence of a valid contract that covers the date of the claim, and then use the measurements – received on daily basis – by all the sensors in the residence and compare the measurement of the claim date with the agreed threshold. The chosen trigger for the compensation is the following:

Consumption of the date of the disaster > 5* Average consumption of the 5 days before the date of the disaster

If this condition is met, the compensation is paid immediately by the program to the address of the client portfolio. The insured is required to report any loss or damage to the insurance company to receive compensation. This means that compensation will not be automatically provided if the loss threshold is reached without the insured making a claim.

Fig. 4. P2Protect Claim Page

3.3.2 BACK-END

The backend consists of the actual contract deployed on the ETHEREUM blockchain and written in Solidity language.

The contract is named "P2PROTECT," and contains a set of functions and events needed to execute the requests received from the front end. The main function is the one used to buy a policy by providing the needed information like the user's address on the Ethereum. The other important one allows the users to make claims and receive reimbursement in case of water leakage or unexpected consumption of a Water.

The contract emits events for policy activation, Claim Paid. The latter can be used to trigger other actions outside the scope of this program or notify external entities.

Below the description of the function included the contract:

- *createInsurance ()*: This function creates a new insurance policy for the policy holder with the provided policy premium and 5 days of consumption readings. The policy holder address and policy premium are stored in a Policy struct.
- *buyInsurance ()*: This function allows a policy holder to buy a new insurance policy by calling createInsurance and updating the activeInsurances mapping to mark the policy holder as having an active policy. The policy holder must have sufficient funds to pay for the policy.
- *addReading ()*: This function allows adding a new consumption reading. It calls shiftMeasurement on all policies to shift the readings and add the new reading to the end of the list.
- *shiftMeasurement ()*: This function shifts the 5 days of consumption readings for a policy and adds the new reading to the end of the list.
- *shouldPaySclaim ()*: This function checks if the policy holder is eligible for a settlement payment based on the latest consumption reading. A policy holder is eligible for a settlement if the latest consumption reading is greater than or equal to the CONSUMPTION_THRESHOLD and LEAKAGE= True.
- *payClaim ()*: This function pays the settlement to the policy holder if the policy holder is eligible for a settlement, based on the result of shouldPayClaim. The settlement amount is calculated as the policy premium multiplied by the greed Multiplier (10 in this case).
- *ClaimPaid ()*: This is an event that is triggered when a settlement payment is made to a policy holder.

In addition, there are other Node.js scripts necessary to operate this type of application.

3.4 DISCUSSION OF THE RESULTS

In this section we demonstrate the functionalities of P2Protect using the Remix platform. First, we compiled the code using the solidity compiler, and corrected the errors and warning that it contains. Next, we deployed the smart contract to the Ethereum blockchain (the goerli Ethereum testbed). Once the contract is deployed, we were able to interact with it using Remix user interface. We tested then all possible scenarios and functionalities, such as creating a new insurance policy, adding a new measurement, submitting a claim... We were able to visualize the contract state variable as well as the transactions performed during the testing process, using the debugger offered by Remix. Allowing us to verify that the P2Protect smart contract is working as intended in term of policy subscription and claim settlement.

The snapshots below show some of the key steps involved in the deployment process.

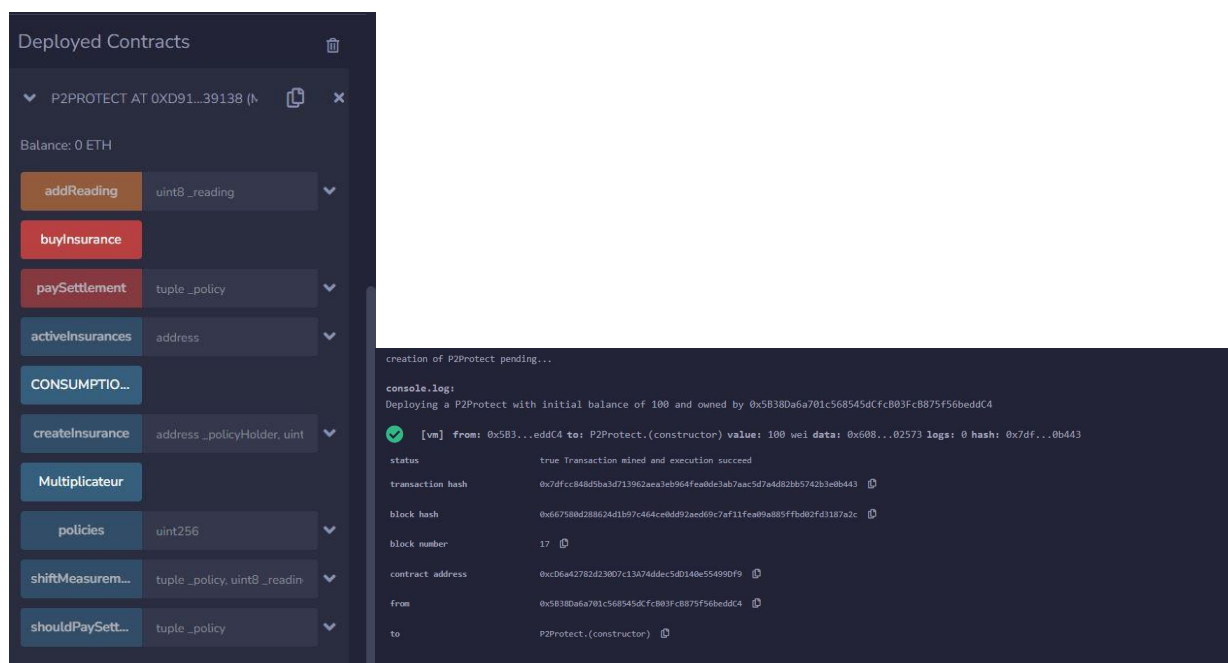


Fig. 5. Snapshot of the P2Protect contract deployed on Ethereum

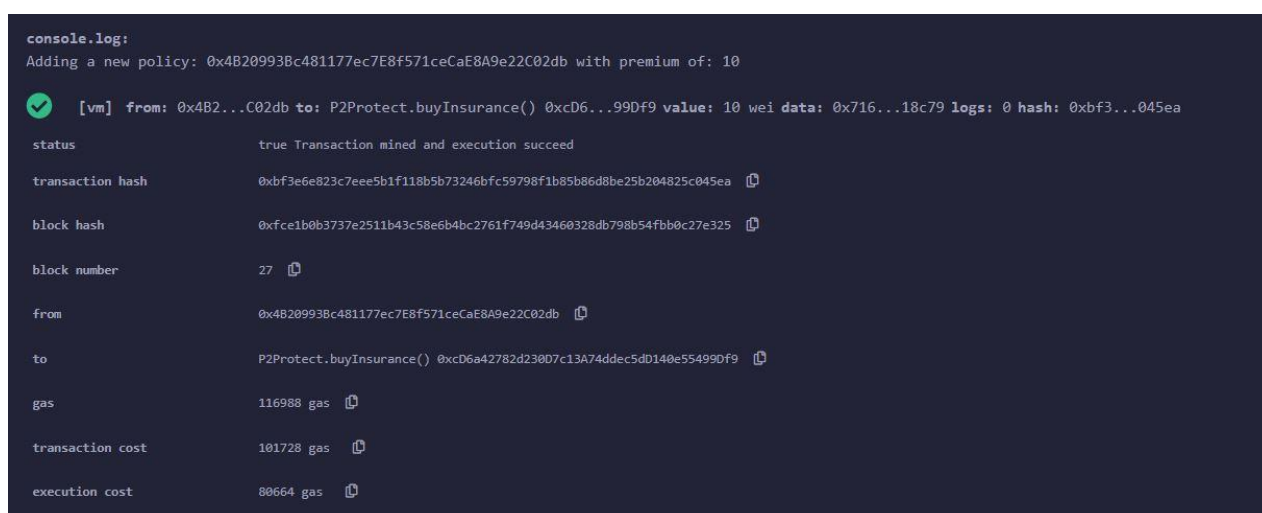


Fig. 6. Snapshot of a new insurance policy purchased

```

transact to P2Protect.paySettlement pending ...

console.log:
About to pay settlement to 0x4B20993Bc481177ec7E8f571ceCaE8A9e22C02db
Sent 200 wei to 0x4B20993Bc481177ec7E8f571ceCaE8A9e22C02db the premium is 10

[vm] from: 0x4B2...C02db to: P2Protect.paySettlement((address,uint256,(uint8,uint8,uint8,uint8))) 0xcD6...990f9 value: 100 wei
data: 0x193...0000b logs: 1 hash: 0x6ec...580c4

status true Transaction mined and execution succeed
transaction hash 0x6ec36369e82591134ae538ff13084c349ce1796944cc45a2646fae845fc580c4
block hash 0xca31c75cd66a08c77523a58bb15bb6ba77334d00830f4bf097301e216604c703
block number 32
from 0x4B20993Bc481177ec7E8f571ceCaE8A9e22C02db
to P2Protect.paySettlement((address,uint256,(uint8,uint8,uint8,uint8))) 0xcD6a42782d23007c13A74ddcc5dD140e55499Df9
gas 44126 gas
transaction cost 38370 gas
execution cost 16146 gas

```

Fig. 7. Snapshot of a successful claim payment according to contract parameters

Finally, we tested the interoperability of P2Protect smart contract with the external wallet (our test MetaMask wallet in this case). We confirmed that it can be used in conjunction with these external tools for secure and transparent transactions.

The result of these tests demonstrate that the proposed solution is feasible, we were able to automate the process for both subscriptions and claim processing, without the need of intermediaries. Automation leads to fast and cost-efficient process. The objective of this study which is the design and implementation of a real use case of a P2P home insurance using the parametric concept and the smart contract technology was met.

4 CONCLUSION

In This study, we have exposed the revolutionary blockchain technology, the concept and promises of the smart contracts, and their application in the insurance sector, as exemplified by the design and implementation of a Peer-to-Peer parametric home insurance application. By reviewing the literature on the intersection between the blockchain smart contract technology and the niche market of P2P parametric insurance, we have set the stage for our solution. The latter was derived from a real need in the touristic villages in the north of Morocco.

The main part of the research is dedicated to experimental study, which details all the steps involved in the implementation of the solution and its complexities. Within the implementation, we have given a special attention to the technical choices and tools used for the development. these choices have a big influence on the final application in the context of a Web3 Blockchain application. The backend part of the application requires deep knowledge of the blockchain technology and smart contracts, while the front-end provides the user interface to all types of applications (centralized or not). For this reason, only the backend was explained in detail in this article.

In conclusion, we have demonstrated in this study through the proposed P2P home insurance solution that a completely decentralized insurance product is feasible and can be a promising alternative in the future to traditional insurance models for real customers issues. Our findings suggest also that this system can provide homeowners with a coverage at reduced cost and more efficient processing of claims. The scope of this proposal included only the water leakage and resulting damage; however, it can be extended to other standard home damages that we find in the classic insurance contracts: electrical damage, fire, theft...

On the other hand, the study has limitations related mainly to real world testing with real customers to fully determine the effectiveness of the P2P insurance solution. User acceptance, and customer adoption of this type of products requires exploration and further research. Furthermore, common challenges for all application in the evolving landscape of blockchain and smart contracts needs to be addressed in other studies, such as performance under extensive loads, scalability issues and regulatory hurdles.

Looking ahead, this study contributes to the beginning of a long marriage and intersection between a cutting-edge technology and old established industry – the insurance -. The journey towards this positive transformation is still long and will be fueled by ongoing research and innovation.

REFERENCES

- [1] Bonelli M (2020). Analogies Between Internet and Blockchain, Hype Cycles, and Securities Trading Patterns. doi: 10.2991/aebmr.k.201128.011.
- [2] Gatteschi V, Lamberti F, Demartini C, Pranteda C, Santamaría V (2018). To Blockchain or Not to Blockchain: That Is the Question. *IT Prof*, 20: 62–74.
- [3] Szabo N (1996). Smart contracts: building blocks for digital markets. *EXTROPY J Transhumanist Thought* 16, 18: 28.
- [4] Wright A, De Filippi P (2015). Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. doi: 10.2139/ssrn.2580664.
- [5] Nakamoto S Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 9.
- [6] Buterin V A NEXT GENERATION SMART CONTRACT & DECENTRALIZED APPLICATION PLATFORM. In: *ethereum.org*. <https://ethereum.org>. Accessed 9 Nov 2023.
- [7] Gatteschi V, Lamberti F, Demartini C, Pranteda C, Santamaría V (2018). Blockchain and Smart Contracts for Insurance: Is the Technology Mature Enough? *Future Internet*, 10: 20.
- [8] Salahshor A, Scherrer J (2020). Smart Contracts, Insurtechs and the Future of Insurance. 133.
- [9] Jha N, Prashar D, Khalaf OI, Alotaibi Y, Alsufyani A, Alghamdi S (2021). Blockchain Based Crop Insurance: A Decentralized Insurance System for Modernization of Indian Farmers. *Sustainability*, 13: 8921.
- [10] Schwarze R, Sushchenko O (2022). Climate Insurance for Agriculture in Europe: On the Merits of Smart Contracts and Distributed Ledger Technologies. *J Risk Financ Manag*, 15: 211.
- [11] Ferreira A (2021). Regulating smart contracts: Legal revolution or simply evolution? *Telecommun Policy*, 45: 102081.
- [12] Morrison R, Mazey NCHL, Wingreen SC (2020). The DAO Controversy: The Case for a New Species of Corporate Governance? *Front Blockchain*, 3: 25.
- [13] Al Khalil F, Butler T, O'Brien L, Ceci M (2017). Trust in Smart Contracts is a Process, As Well. In: Brenner M, Rohloff K, Bonneau J, Miller A, Ryan PYA, Teague V, et al., editors *Financ. Cryptogr. Data Secur. Cham: Springer International Publishing*, 510–519.
- [14] Xu X, Weber I, Staples M Architecture for Blockchain Applications. doi: 10.1007/978-3-030-03035-3.
- [15] Nodes as a service. In: *ethereum.org*. <https://ethereum.org>. Accessed 24 Aug 2023.
- [16] The 12 Best Blockchain Node Providers in Web3 (2023). <https://www.alchemy.com/overviews/blockchain-node-providers>. Accessed 24 Aug 2023.
- [17] How to Choose the Right Crypto Wallet | Bitstamp. In: *Learn Cent*. <https://www.bitstamp.net/learn/crypto-101/how-to-choose-the-right-crypto-wallet/>. Accessed 24 Aug 2023.
- [18] Introduction to Smart Contracts — Solidity 0.8.10 documentation. <https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.10/introduction-to-smart-contracts.html#using-remix-ide>. Accessed 22 Feb 2023.
- [19] Remix Docs Home. In: *Remix*. <https://remix.run/docs/en/main>. Accessed 9 Nov 2023.
- [20] Hardhat Network | Ethereum development environment for professionals by Nomic Foundation. <https://hardhat.org>. Accessed 22 Feb 2023.

Evolution de l'occupation du sol dans les bassins versants fortement urbanisés et leurs impacts sur les ruissellements de surface: Cas de Bonoumin et du Gourou (Abidjan, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest)

[Evolution in land use in highly urbanised watersheds and their impacts on surface runoff: Case of Bonoumin and Gourou (Abidjan, Ivory Coast, West Africa)]

Kouadio Prudence Aka¹, Yao Blaise Koffi², Anzoumanan Kamagate³, Kouassi Ernest Ahoussi⁴, and Amani Michel Kouassi⁵

¹Laboratoire des sciences du sol, de l'eau et des géomatériaux, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des sciences du sol, de l'eau et des géomatériaux, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Mer, Université de San-Pedro, Ville: San Pedro, Côte d'Ivoire

⁴Laboratoire des sciences du sol, de l'eau et des géomatériaux, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

⁵Stermi, Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The spatio-temporal dynamic of land use in the Bonoumin and Gourou watersheds, over the last three decades (1990 to 2020), were analysed using Landsat images (1990, 2005 and 2020), remote sensing and a geographic information system (GIS). The main objective of this study was to analyse the impact of changes in land use in these two watersheds on stormwater runoff, which is responsible for flooding in the study area. The methodology adopted consisted of first downloading the Landsat images, which were then pre-processed, before undergoing several processes, leading to the classification and analysis of land cover dynamic. Maximum likelihood supervised classification was applied. Thus, the results of this classification showed that over the last three (03) decades, the impermeabilised surfaces in the two watersheds, represented by the medium and highly densified urban areas, have increased significantly, unlike the vegetated surfaces, which have decreased significantly. The increase in impermeable surfaces reduces the capacity for water to infiltrate the soil and increases the amount of runoff. The results also showed that in recent years, the upper reaches of the Bonoumin watershed have come under considerable anthropogenic pressure. This means that in a few years time, there will be a sharp increase in the amount of runoff water in the lowlying areas of this basin, and therefore an increase in the risk of flooding.

KEYWORDS: Land use, Landsat images, sealed surfaces, Bonoumin watershed, Gourou watershed.

RESUME: La dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, au cours de ces trois dernières décennies (de 1990 à 2020), a été analysée à partir des images Landsat (de 1990, de 2005 et de 2020), de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG). L'objectif de cette étude était d'analyser l'impact des modifications de l'occupation du sol de ces deux bassins versants, sur les eaux de ruissellement pluvial, responsables des inondations dans la zone d'étude. La méthodologie adoptée a consisté à télécharger premièrement les images Landsat, qui ont par suite été prétraitées, avant de subir plusieurs traitements, pour aboutir à la classification et à l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol. La classification supervisée par maximum de vraisemblance a été appliquée. Ainsi, les résultats de cette classification ont montré qu'au cours de ces trois (03) dernières décennies, les surfaces imperméabilisées sur les deux bassins versants, représentées par les zones urbaines moyennement et fortement densifiées, ont significativement progressées, contrairement aux surfaces végétalisées, qui ont beaucoup régressées. La progression de ces surfaces imperméabilisées entraîne la diminution de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol et l'augmentation des eaux de ruissellement pluvial. Aussi, les résultats ont-ils montré que depuis quelques

années, l'amont du bassin versant de Bonoumin subit une forte pression anthropique. Ce qui signifie que d'ici quelques années, il y aura une forte augmentation de la quantité d'eau de ruissellement dans les zones basses de ce bassin et donc l'augmentation du risque d'inondation.

MOTS-CLEFS: Occupation du sol, images Landsat, surfaces imperméabilisées, Bassin versant de Bonoumin, Bassin versant de Gourou.

1 INTRODUCTION

La plupart des grandes métropoles Ouest africaines connaissent de nos jours une forte croissance démographique due en partie à la grande sécheresse, qu'a connue cette partie de l'Afrique pendant la deuxième moitié du XXème siècle. Selon le RGPH, la population de la ville d'Abidjan est estimée à environ 500000 habitants en 1970 et est passée à 5616633 habitants en 20121 [1], [2], soit une augmentation de 100 326 habitants par an au cours de ces 51 dernières années. Cette urbanisation galopante n'est pas sans conséquence sur l'espace urbain, car elle a conduit à une forte imperméabilisation des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, objet de cette étude. Elle a également provoqué l'augmentation de la vulnérabilité des populations, qui habitent les zones basses de ces bassins, face aux inondations à la suite des pluies intenses. Or, selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les pluies intenses vont se multiplier dans les prochaines années, [3]. Et selon plusieurs études, l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes liés au réchauffement du climat, combinée à l'anthropisation de plus en plus marquée des bassins fluviaux (imperméabilisation des surfaces, déforestation, disparition des terrains marécageux, etc.), entraînera une augmentation importante des phénomènes d'inondations [4], [5]. Dans la ville d'Abidjan, de façon générale et dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou, en particulier, entre les années 2009 et 2020, l'on a enregistré neuf (09) années où les inondations ont endeuillé plusieurs familles et provoqué d'importants dégâts matériels. Une première étude réalisée par [6], a montré l'impact des caractéristiques morphométriques de chaque bassin sur la recrudescence des inondations, en vue de la compréhension du fonctionnement hydrologique de ces deux bassins. Ainsi, l'objectif de ce présent article est d'analyser l'impact des modifications de l'occupation du sol de ces deux bassins versants, sur les eaux de ruissellement pluvial, responsables des inondations dans la zone d'étude. Ainsi, il sera question, dans cette étude, d'analyser la dynamique de l'occupation du sol sur ces deux bassins versants, au cours de ces trente (30) dernières années, en mettant un accent particulier sur l'évolution des zones urbaines moyennement et fortement densifiées, qui peuvent avoir un rôle déterminant dans la genèse des eaux de ruissellement pluvial.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Localisés dans la ville d'Abidjan entre les latitudes 4°02'30" et 3°56'15"N et les longitudes 5°20' et 5°25' W, les bassins versants de Bonoumin et du Gourou (Fig. 1) couvrent respectivement les superficies de 47,8 km² et de 28,7 km². Le bassin versant de Bonoumin est localisé dans deux communes de la ville d'Abidjan: Abobo et Cocody. Tandis que le bassin du Gourou, s'étend sur quatre communes de ladite ville: Cocody, Abobo, Adjamé et Plateau [6]. Les rivières de ces deux bassins versants sont des rivières intermittentes qui drainent principalement les eaux de ruissellement pluvial [6]. Sur le plan climatique, il règne sur ces deux bassins versants, un climat de type équatorial de transition ou encore climat attiién [7], [8], caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La saison des pluies comprend une grande saison (d'avril à juillet avec un pic pluviométrique en juin) et une petite saison (d'octobre à novembre). Egalement, la saison sèche se compose d'une longue saison (décembre à mars) et d'une courte saison (août à septembre), [6]. La géologie de la zone d'étude est constituée de sables, d'argiles et de grès ferrugineux des Hauts-Plateaux [8]. Sur le plan hydrogéologique, l'on rencontre principalement sur les deux bassins versants, la nappe du Continental Terminal [8].

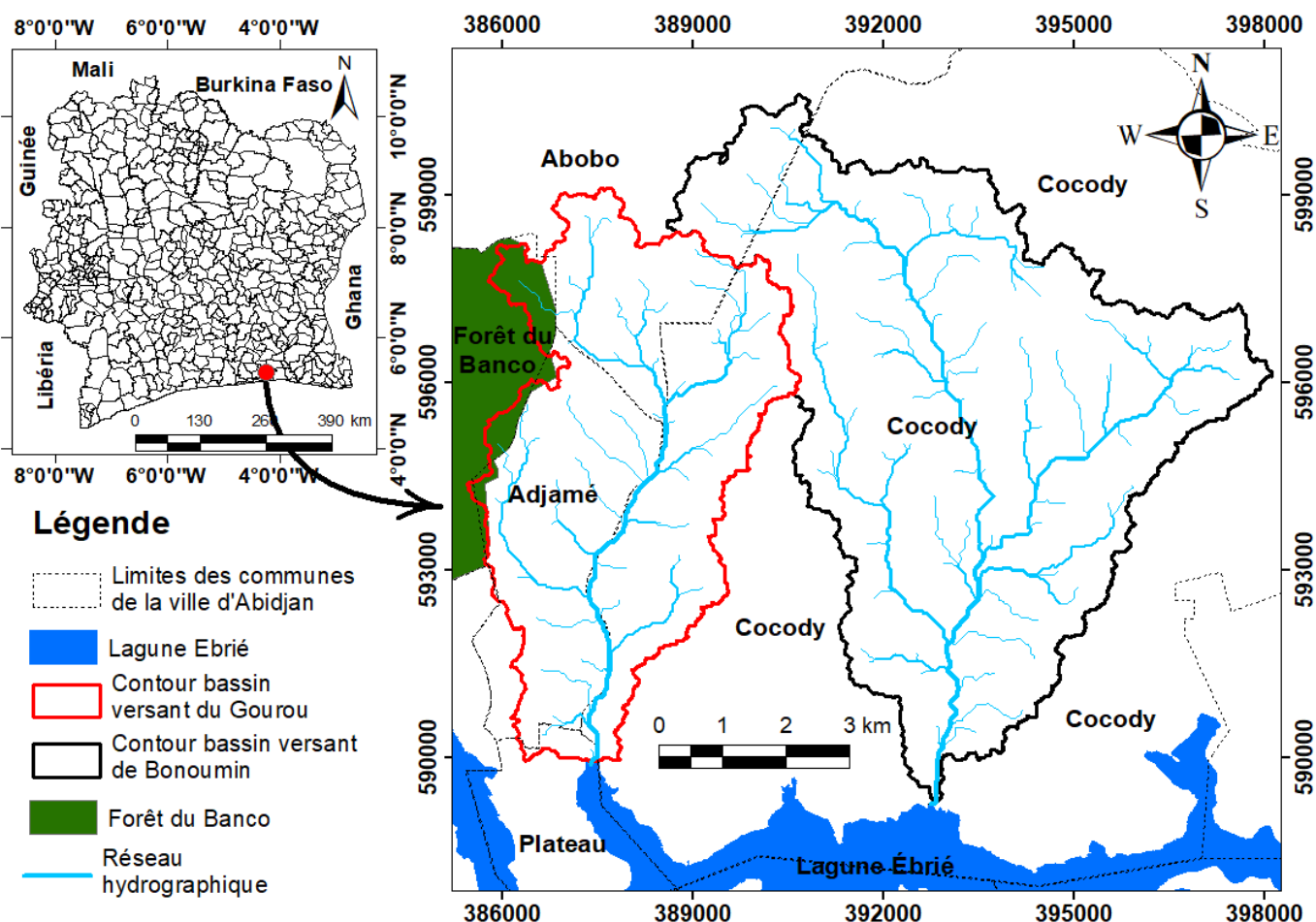


Fig. 1. Aperçu des bassins versants de Bonoumin et du Gourou

2.2 MATÉRIEL ET DONNÉES

Dans le but d'étudier la dynamique de l'occupation du sol dans la zone d'étude, l'on a opté pour l'utilisation des images satellitaires qui couvrent une superficie plus grande et donc qui ont la capacité de représenter un grand nombre de processus à la fois. Ces images proviennent du capteur Landsat. Les raisons de l'utilisation des images de ce capteur sont liées à leur accès gratuit, mais aussi à cause de leur disponibilité sur toute la période d'étude.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 ACQUISITION DES IMAGES POUR L'ÉTUDE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

Trois (03) images Landsat, acquises à des dates différentes, ont été utilisées pour étudier la dynamique de l'occupation du sol sur les bassins versants de Bonoumin et du Gourou. Il s'agit des images Landsat TM (Thematic Mapper) pour celle de 1990, ETM+ (Enhance Thematic Mapper) pour celle de 2005 et OLI (Operational Land Imager) pour celle de 2020. Compte tenu de l'abondance de nuage dans le ciel abidjanais pendant les deux saisons pluvieuses et la petite saison sèche, les images Landsat utilisées dans cette étude ont été acquises pendant la grande saison sèche, principalement dans les mois de décembre à mars. C'est seulement dans cette période que les images sont de bonne qualité avec moins ou pas de nuage. Ces données Landsat ont été obtenues par téléchargement à partir du site web de l'USGS (United States Geological Survey), à partir de l'adresse <http://earthexplorer.usgs.gov>. Une fois les images acquises, elles ont été traitées et puis classifiées afin d'extraire des informations sur l'occupation du sol à l'aide de logiciels tels que ENVI 5.1 et ArcGIS 10.5.

2.3.2 PRÉTRAITEMENTS DES IMAGES

Les prétraitements appliqués aux différentes images Landsat, utilisées dans cette étude, concernent les corrections atmosphériques et radiométriques. Pour la correction radiométrique, la procédure suivie a consisté à passer les valeurs des pixels de compte numérique en valeur

de réflectance au sommet de l'atmosphère. Ensuite, une correction atmosphérique a été appliquée en vue de convertir la réflectance au sommet de l'atmosphère en valeur de réflectance de la surface du sol. Pour ces différentes corrections, nous avons utilisé respectivement les outils du logiciel ENVI 5.1 « Radiometric Calibration », pour la correction radiométrique et « Dark Subtraction », pour la correction atmosphérique.

2.3.3 TRAITEMENTS DES IMAGES SATELLITAIRES

2.3.3.1 COMPOSITION COLORÉE

Les corrections radiométriques et atmosphériques appliquées sur chacune des images Landsat a permis d'obtenir de nouvelles images de meilleure qualité. Ensuite, il a été question de faire une composition colorée de chaque nouvelle image obtenue. Elle consiste à combiner des informations que contiennent trois bandes en les affichant simultanément dans les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu). La composition colorée permet donc de faire une synthèse d'informations en vue de faire une bonne discrimination des types de formations végétales et aussi des différentes zones urbaines [9]. Ainsi, deux types de composition colorée ont été effectués dans cette étude. Ce sont les compositions 6/5/4, qui ont été utilisées pour discriminer les différentes zones urbaines et les compositions 4/3/2, utilisées pour la discrimination des formations végétales [10].

2.3.3.2 CHOIX DES SITES D'ENTRAÎNEMENTS

Les sites d'entraînement sont des polygones qui ont été délimités sur Google earth, pour la période correspondante sur chaque image téléchargée, en vue de faire la classification de l'occupation du sol. Ce sont des portions d'images qui sont sélectionnés par l'utilisateur et elles sont souvent de forme irrégulière et généralement utilisées pour extraire des données statistiques dans la classification [11]. La délimitation de ces polygones, a été faite en fonction des objectifs de l'étude et donc des classes de l'occupation du sol que nous avons retenues. Il s'agit notamment des classes forêt, herbacée, eau, urbain faiblement et moyennement densifié (URFMD) et urbain fortement densifié (URHD). Ainsi, pour chaque image, plusieurs sites d'entraînement ont été délimités puis scinder en deux groupes. Le premier a servi à faire la classification, tandis que le deuxième a été utilisé pour son évaluation.

2.3.3.3 CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL

La classification de l'occupation du sol, à partir des images Landsat des années 1990, 2005 et 2020, des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, a été faite à l'aide de la méthode classification supervisée à partir de l'algorithme de maximum de vraisemblance. Il s'agit d'un algorithme qui utilise des échantillons pour déterminer les caractéristiques des catégories de l'occupation du sol [11]. Le principe de cette méthode consiste à comparer la signature spectrale de chaque pixel dans chacun des trois canaux (5, 4 et 2) à celle des parcelles d'entraînement ou régions d'intérêt [9]. Les pixels sont alors affectés dans la classe dont ils sont le plus proche. Par ailleurs, dans le souci d'améliorer la classification des images brutes sorties, les pixels isolés ont été réassociés à une classe. Cette opération a consisté à filtrer l'image classifiée en utilisant un filtre de convolution, précisément un filtre médian de taille 3x3. A la suite de la classification de l'occupation du sol, l'on est passé, à son évaluation et à sa validation.

2.3.3.4 EVALUATION ET VALIDATION DES RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DES SOLS

L'évaluation de la précision d'une classification de l'occupation du sol, en vue d'une utilisation, est basée sur l'interprétation de la matrice de confusion [11]. Cette matrice permet de déterminer la précision globale des résultats obtenus (nombre total de pixels correctement classifiés, coefficient Kappa) et la précision de chaque catégorie classifiée (précision individuelle). Le résultat de la classification est considéré comme acceptable si le nombre total de pixels correctement classifiés est supérieure à 85%, les précisions individuelles des catégories sont du même ordre [12], et le coefficient Kappa est supérieur à 0.80 [13], [14], [15].

2.3.3.5 ETUDE DE LA DYNAMIQUE DES CLASSES DE L'OCCUPATION DU SOL

Une fois la classification terminée et les cartes validées, les superficies de différentes classes d'occupation du sol ont été calculées à partir du croisement des cartes d'occupation du sol des différentes années à l'aide de la fonction *Intersect* de la boîte à outils ArcToolbox du logiciel ArcGIS 10.5. Le taux de changement (T_c) d'une classe de l'occupation du sol entre deux dates a été calculé pour chaque classe sur la base de l'équation 23 [18]:

$$T_c = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100$$

Où S_1 et S_2 sont respectivement les superficies initiale et finale de la classe d'occupation du sol.

Ainsi, les valeurs positives de T_c ($T_c > 0$) indiquent une progression de la surface de la catégorie pendant la période analysée et les valeurs négatives T_c ($T_c < 0$) traduisent la perte de surface d'une catégorie entre les deux dates. Les valeurs proches de zéro nous indiquent que la catégorie reste relativement stable entre les deux dates.

2.3.3.6 CALCUL DU RYTHME D'ÉVOLUTION DES UNITÉS D'OCCUPATION DU SOL

La connaissance du rythme d'évolution d'une classe de l'occupation du sol permet d'apprécier sa dynamique à différentes périodes. Ainsi, dans cette étude, nous avons appelé S_1 , la superficie d'une unité d'occupation du sol en 1990, S_2 sa superficie en 2005, S_3 sa superficie en 2020 et ΔS , la variation de la superficie de cette unité d'occupation entre deux années. Par la suite, les interprétations suivantes sont faites:

- Si $\Delta S = 0$, on conclut qu'il y a stabilité;
- Si $\Delta S < 0$, on conclut qu'il y a diminution de cette unité;
- Si $\Delta S > 0$, il y a extension de cette unité.

Ainsi, les différentes étapes de la cartographie de la dynamique de l'occupation du sol peuvent être résumées par le diagramme de la figure ci-dessous (Fig. 2).

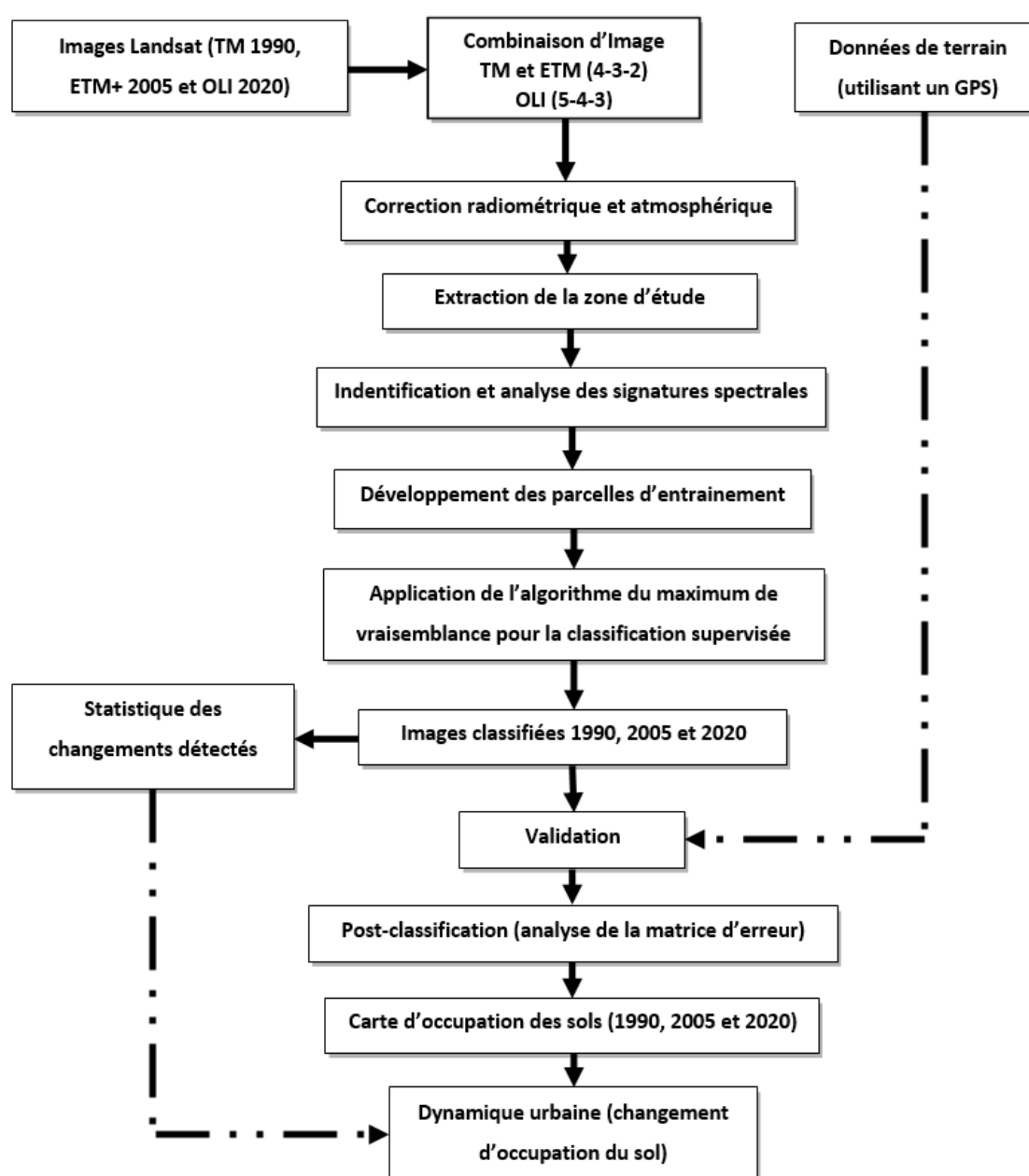


Fig. 2. Diagramme résumant la cartographie de la dynamique urbaine des bassins versants de Bonoumin et du Gourou

3 RESULTATS

Le prétraitement et le traitement des images Landsat de 1990, 2005 et 2020, ont permis d'obtenir les résultats sur la dynamique de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou. Par ailleurs, notons que la connaissance des dynamiques récentes des différentes classes de l'occupation du sol des deux bassins versants, est essentielle pour appréhender leur évolution future et leur modélisation.

3.1 DESCRIPTION DES CLASSES DE L'OCCUPATION DE SOL RETENUES

La définition des classes de l'occupation du sol, pour une étude de sa dynamique spatio temporelle est une étape très importante. Ainsi, à la suite des travaux de reconnaissance et d'observation sur le terrain combinés aux objectifs de l'étude, cinq (05) classes d'occupation du sol, ont été définies pour étudier leur dynamique spatio-temporelle sur les bassins versants de Bonoumin et du Gourou. Ces classes sont décrites dans le tableau 1.

Tableau 1. Classes de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou

Classes	Description
Forêt	Cette classe comprend les forêts du Banco, de l'Université Nangui Abrogoua, d'Agban gendarmerie ainsi que de tous autres espaces forestiers répertoriés sur l'étendue des deux bassins versants d'étude.
Herbacé	Elle comprend les espaces engazonnés, les végétations présentes dans les cours d'eau naturels de la zone d'étude, la broussaille des zones non encore habitées ainsi que les arbres isolées et plantés par les riverains.
Urbain faiblement et moyennement densifié (URFMD)	Cette classe caractérise les zones urbaines présentant une faible imperméabilisation. Ces zones, dépendant des types de construction, sont fonction des quartiers et donc du niveau de vie des populations. Elles caractérisent majoritairement certains quartiers d'Abobo, d'Adjamé et aussi les zones dénudées et non encore construites ou construites mais non encore habitées.
Urbain fortement densifié (URHD)	Cette classe caractérise les zones urbaines présentant un taux d'imperméabilisation élevé et très élevé. Également fonction du niveau de vie, elle caractérise plusieurs quartiers de la commune de Cocody, mais aussi certains quartiers des communes d'Abobo et d'Adjamé.
Eau	Compte tenu du fait que les images ont été acquises pendant la saison sèche, les plans d'eau classifiés sur les cartes d'occupation du sol concernent seulement la Lagune Ebrié. Cette classe a été principalement définie à l'exutoire du bassin du Gourou. Cependant, elle est absente à l'exutoire du bassin de Bonoumin à cause de la morphologie particulière de son exutoire (recule du niveau de la lagune pendant la grande saison sèche).

3.2 ÉVALUATION DE LA PRÉCISION DE LA CLASSIFICATION DANS LES BASSINS VERSANTS DE BONOUMIN ET DU GOUROU

3.2.1 MATRICE DE CONFUSION DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DE BONOUMIN

Les tableaux 2 à 4 présentent respectivement les matrices de confusion de la classification supervisée des images Landsat des années 1990, 2005 et 2020 pour le bassin versant de Bonoumin.

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification de l'image de 1990

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	100	0	0	0	0	36,98
Herbage	0	100	0	0	0	27,53
Eau	0	0	100	0	0	5,12
URFMD	0	0	0	98,85	3,37	23,62
URHD	0	0	0	1,15	96,63	11,88
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 99,33 %; Coefficient Kappa: 0,99

La matrice de confusion montre une bonne classification de l'image comme en témoignent les valeurs de la précision globale de la classification et du coefficient Kappa qui sont respectivement de 99,33% et 0,99. Cependant, quelques confusions se sont produites entre les zones urbaines. Ces confusions sont détaillées comme suit:

- 3,37 % des zones urbaines faiblement et moyennement densifiées (URFMD), ont été confondues aux zones urbaines fortement densifiées (URHD);
- 1,15 % des zones urbaines fortement densifiées, ont été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 3. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2005

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	100	0	0	0	0	14,03
Herbage	0	100	0	0	0	27,93
Eau	0	0	100	0	0	1,79
URFMD	0	0	0	97,6	0	41,45
URHD	0	0	0	2,4	100	56,76
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 99,27 %; Coefficient Kappa: 0,99

L'analyse de la matrice de confusion issue de la classification de l'image de 2005 montre également une très bonne classification avec des valeurs respectives de la précision globale et du coefficient Kappa de 99,27% et 0,99. Cependant, comme dans le cas précédent, l'on note que 2,4 % des zones urbaines fortement densifiées ont été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 4. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2020

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	81,32	2,99	0	1,27	0	6,23
Herbage	17,58	97,01	0	0	0	10,83
Eau	0	0	100	0	0	1,19
URFMD	1,10	0	0	88,77	7,56	34,72
URHD	0	0	0	9,96	92,44	47,03
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 89,55 %; Coefficient Kappa: 0,89

L'analyse de ce tableau montre que des confusions se sont produites d'une part entre les classes urbaines et d'autre part entre les classes forêt et herbage. En effet:

- 9,96 % et 1,27 % des zones urbaines faiblement et moyenne densifiées (URFMD) ont été confondues respectivement aux zones urbaines fortement densifiées (URHD) et aux forêts;
- À l'opposé, il faut remarquer que 7,58 % des zones urbaines fortement densifiées été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.
- Le constat est le même pour les forêts où 17,56 % et 1,10 % ont été confondues respectivement aux herbages et aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées;
- En ce qui concerne les herbages, l'on note une confusion de 2,99 % attribuée aux forêts.

3.2.2 MATRICE DE CONFUSION DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU GOUROU

Les tableaux 5 à 7 présentent respectivement les matrices de confusions de la classification supervisée des différentes images Landsat des années 1990, 2005 et 2020, du bassin versant du Gourou.

Tableau 5. Matrice de confusion de la classification de l'image de 1990

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	99,77	0	0	0	0	35,58
Herbage	0,23	99,69	0	3,92	0	26,97
Eau	0	0	100	0	0	1,87
URFMD	0	0,31	0	90,2	5,86	12,67
URHD	0	0	0	5,88	94,14	22,91
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 97,24 %; Coefficient Kappa: 0,96

L'analyse de la matrice de confusion issue de la classification supervisée de l'image de 1990, montre des confusions entre plusieurs classes de l'occupation du sol. En effet, l'on constate que parmi ces confusions, les plus importantes sont:

- 5,88 % et 3,92 % des zones urbaines faiblement et moyennement densifiées (URFMD) ont été confondues respectivement aux zones urbaines fortement densifiées (URHD) et aux herbages;
- 5,86 % des zones urbaines fortement densifiées ont été confondues aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 6. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2005

Class	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	100	0,28	0	0	0	14,21
Herbage	0	99,72	0	0	0	26,84
Eau	0	0	100	0	0	3,98
URFMD	0	0	0	100	0,85	18,57
URHD	0	0	0	0	99,15	36,39
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 99,63 %; Coefficient Kappa: 0,99

L'analyse de la matrice de confusion issue de la classification supervisée de l'image de 2005, montre des confusions mineures entre certaines classes de l'occupation du sol. Ces confusions s'expriment seulement au niveau des herbages où 0,28 % se confond aux forêts et des zones urbaines fortement densifiées où l'on note que 0,82 % a été confondu aux zones urbaines faiblement et moyennement densifiées.

Tableau 7. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2020

Classes	Forêt	Herbage	Eau	URFMD	URHD	Total
Forêt	99,61	0	0	0	0	20,40
Herbage	0,39	100	0	0	0	10,16
Eau	0	0	100	0	0	2,74
URFMD	0	0	0	96,63	0,51	37,26
URHD	0	0	0	3,37	99,49	29,44
Total	100	100	100	100	100	100

Précision globale: 98,64 %; Coefficient Kappa: 0,98

La précision globale et le coefficient Kappa de la matrice de confusion de l'image de 2020 sont respectivement de 98,64 % 0,98. L'analyse de ce tableau montre que des confusions se sont produites entre certaines classes de l'occupation du sol, mais les plus importantes sont celles qui se sont produites entre les deux classes urbaines moyennement et fortement densifiées. En effet, l'on note dans ce tableau que 3,37 % de ces zones urbaines faiblement et moyennement densifiées ont été confondues à celles fortement densifiées.

3.3 ANALYSE DES DYNAMIQUES DE L'OCCUPATION DU SOL DES BASSINS VERSANTS DE BONOUMIN ET DU GOUROU AU COURS DE CES 30 DERNIÈRES ANNÉES

3.3.1 ETAT DE L'OCCUPATION DE SOL DES DEUX BASSINS VERSANT EN 2020

La figure 3 présente la répartition des classes d'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin et du Gourou, issue de la classification supervisée d'image Landsat 8 (OLI) pour le mois de décembre 2020.

CAS DU BASSIN VERSANT DE BONOUMIN

L'observation de la figure 3 montre que les zones urbaines fortement urbanisées couvrent 58,9 % de la surface totale du bassin, soit 2798,46 km². Cette première classe qui couvre plus de la moitié du bassin est suivie par les zones urbaines faiblement et moyennement densifiées, qui couvrent quant à elle 29,1 % de la surface totale du bassin, soit 1383,44 km². Ces deux classes urbaines représentent donc à elles seules 88 % de la surface du bassin. Les trois autres classes restantes, qui couvrent le reste du bassin (12 %) sont réparties comme suit. La classe herbage occupe 8,6 % de la superficie du bassin, soit 410,38 km²; vient ensuite la classe forêt qui couvre 3,3 % du territoire, soit 155,25 km² et le reste 0,1 % de la superficie du bassin représentant 2,9 km² est occupé par la classe eau.

CAS DU BASSIN VERSANT DU GOUROU

Pour ce qui concerne le bassin versant du Gourou, l'analyse de la figure ci-dessous (Fig. 3) montre également une dominance des classes urbaines qui couvrent 81,5 % de la surface totale du bassin, soit 2340,28 km². Dans les détails, l'on constate que les zones urbaines fortement densifiées couvrent 51,5 % de cette surface, soit 1477,73 km². Quant aux zones urbaines faiblement et moyenne densifiées, elles occupent 30 % de la superficie du bassin, soit 862,55 km². Par ailleurs, comme l'on a déjà signifié dans le cas du bassin versant de Bonoumin, il est à constater aussi une faible proportion des classes forêt, herbage et eau qui couvrent ensemble 18,5 % du bassin du Gourou, soit 533,53 km². En effet, dans les détails, l'on note que la classe herbage couvre 15,7 % de la superficie du bassin, soit 451,51 km². La classe forêt, quant à elle, couvre 2,7 % de la superficie du bassin, soit 78,45 km² et le reste 0,1 % de la surface du bassin, représentant 3,56 km² est occupé par la classe eau.

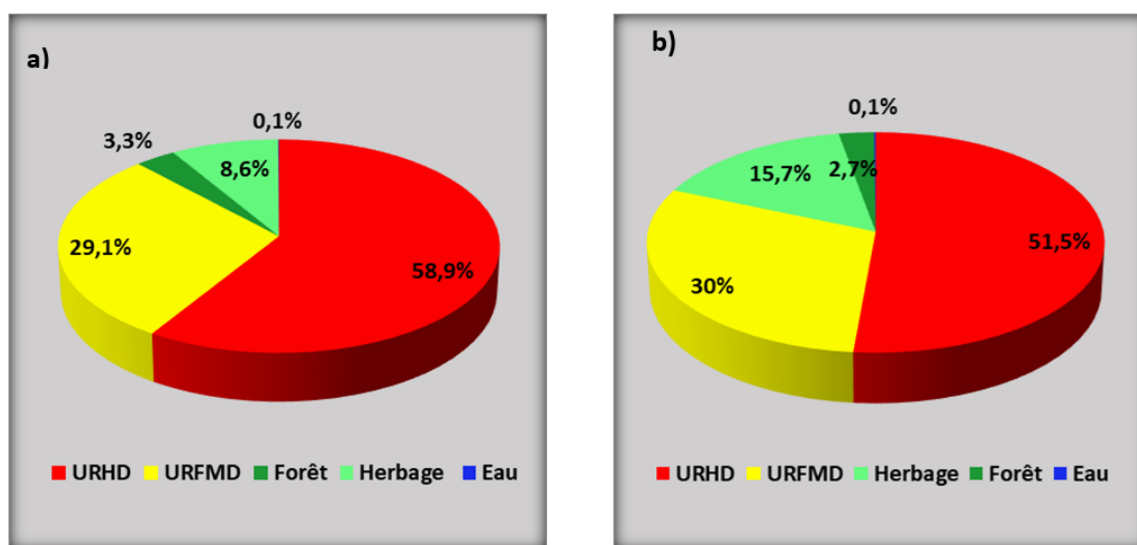


Fig. 3. Répartition de l'occupation du sol des bassins versants de Bonoumin (a) et du Gourou (b) de 2020

URFMD = Zones Urbaines Faiblement et Moyennement Densifiées; URHD = Zones Urbaines Hautement ou fortement Densifiées

3.3.2 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN

Dans cette partie, l'analyse diachronique de l'occupation du sol est utilisée pour l'évaluation quantitative de cette dynamique de 1990 à 2020. Afin de montrer l'évolution de chaque catégorie de l'occupation du sol au cours du temps, une série de transformations ensemblistes est utilisée. Ainsi, la relation entre la même classe à deux dates nous permet de différencier les zones stables, les zones de régression et les zones de progression de cette classe. La figure 4 présente les cartes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin pour les années 1990, 2005 et 2020.

3.3.2.1 ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN SUR LA PÉRIODE 1990 - 2005

Le tableau 8 présente les superficies des différentes classes de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin au cours de la période 1990 - 2005.

Tableau 8. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin entre 1990 et 2005

Classes	Surfaces des classes en 1990 (en ha)	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Changements 1990 - 2005	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	225.13	127.99	-97.14	-43.15
Herbage	2926.74	1354.89	-1571.85	-53.71
Eau	1.74	2.05	0.31	18.00
URFMD	1103.51	1274.41	170.90	15.49
URHD	493.33	1991.11	1497.78	303.61

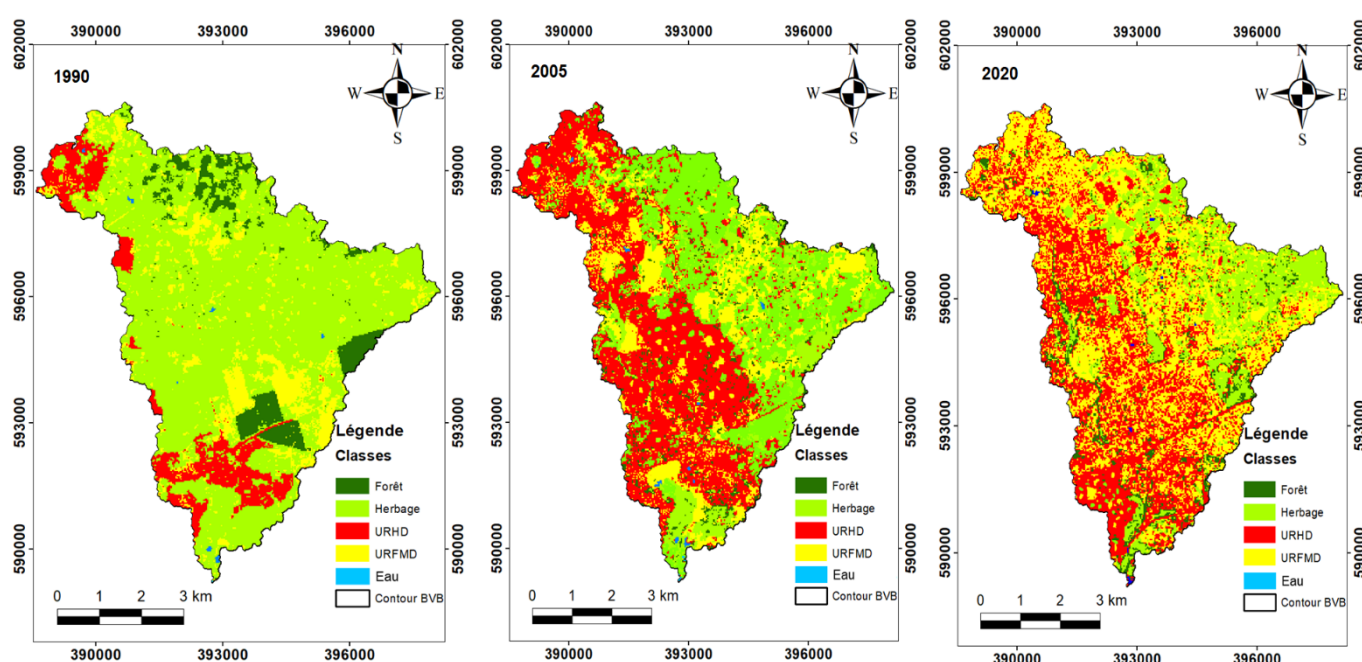


Fig. 4. Cartes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin de 1990, 2005 et 2020

L'analyse de la figure 4 et du tableau 8, montre que sur les cinq (05) classes d'occupation du sol, deux (02) ont subi une régression de leurs surfaces, tandis que les trois (03) autres ont vu leurs surfaces respectives progresser. Les classes dont les surfaces ont diminuées concernent les forêts et les herbages. En effet, au niveau des forêts, l'on note une régression de 97.14 ha, soit 43.15 %, en passant de 225.13 ha en 1990 à 127.99 ha en 2005. En ce qui concerne les herbages, il faut remarquer également une baisse 1571.85 ha, soit une réduction de 53.71 % de leur surface initiale, puisqu'elle est passée de 2926.74 ha en 1990 à 1354.89 ha en 2005. Contrairement à ces deux classes, l'on note que les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées (URMFD) ainsi que celles fortement densifiées (URHD) et les plans d'eau, ont vu leurs surfaces augmenter. En effet, les zones urbaines fortement densifiées ont subies une forte progression de 303.61 %, en passant de 493.33 ha en 1990 à 1991.11 ha en 2005, soit une augmentation de 1497.78 ha. En ce qui concerne les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, l'on enregistre une augmentation de 15.49 % en passant de 1103.51 ha en 1990 à 1274.41 ha en 2005, soit une croissance de leur surface totale de 170.90 ha. Enfin, l'on note aussi la progression de la surface totale des plans d'eau de 18 %, car elle est passée de 1.74 ha en 1990, à 2.05 ha en 2005, soit une augmentation de 0.31 ha.

3.3.2.2 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN SUR LA PÉRIODE 2005 - 2020

Les valeurs des surfaces de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin pour les années 2005 et 2020, sont détaillées dans le tableau 9.

Tableau 9. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin entre 2005 et 2020

Classes	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Surfaces occupation du sol 2020 (en ha)	Changements 2005-2020	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	127.99	115.25	-12.74	-9.95
Herbage	1354.89	450.38	-904.52	-66.76
Eau	2.05	2.93	0.87	42.53
URFMD	1274.41	1983.44	709.03	55.64
URHD	1991.11	2198.46	207.35	10.41

L'analyse de ces différentes cartes et du tableau permet de noter que:

- Les plans d'eau, les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées ainsi que celles fortement densifiées ont vu, leurs superficies, augmenter respectivement de 42.53 %, 55.64 % et 10.41 %. En effet, la superficie des plans d'eau, qui était de 2.05 ha en 2005, est passée à 2.93 ha en 2020, soit une augmentation de 0.87 ha. En ce qui concerne les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, l'on remarque une augmentation de 709.03 ha de leur surface totale en passant de 1274.41 ha en 2005 à 1983.44 ha en 2020. Enfin, au niveau de la superficie totale des zones urbaines fortement densifiées, l'on note qu'en 2005, elle était de 1991.11 ha, alors qu'en 2020, elle était de 2198.46 ha, soit une progression de 207.35 ha.
- A l'opposé de ces classes, qui ont subies une progression au cours de la période 2005 – 2020, les classes herbage et forêt, quant à elles ont régressé respectivement de 66.76 % et 9.95 %. En effet, la superficie totale de la classe herbage est passée de 1354.89 ha en 2005 à 450.38 ha en 2020, soit une diminution 904.52 ha. De même, celle des forêts qui était de 127.99 ha en 2005, est passée à 115.25 ha en 2020, c'est-à-dire une croissance de 12.74 ha.

3.3.3 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU

L'analyse diachronique de l'occupation du sol est également utilisée, dans le bassin versant du Gourou, pour l'évaluation quantitative de sa dynamique de 1990 à 2020. De plus, dans le but de montrer l'évolution de chaque catégorie de l'occupation du sol au cours de cette période, une série de transformations ensemblistes est également utilisée. Pour se faire, la relation entre la même classe à deux dates permet de différencier les zones stables, les zones de régression et les zones de progression de cette classe. Les cartes d'occupation du sol du bassin versant du Gourou des années 1990, 2005 et 2020, sont présentées sur la figure 5.

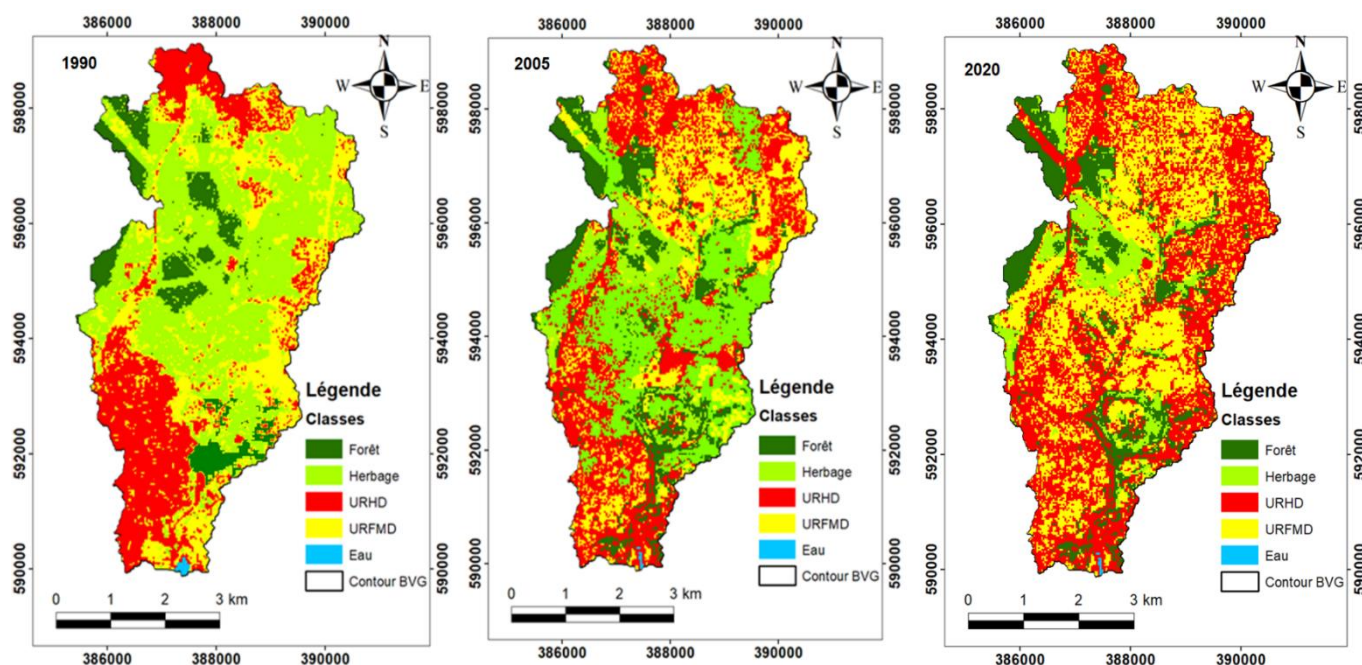


Fig. 5. Cartes d'occupation du sol du bassin versant du Gourou de 1990, 2005 et 2020

3.3.3.1 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU SUR LA PÉRIODE 1990 - 2005

Le tableau 10, présente les caractéristiques de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours des années 1990 et 2005.

Tableau 10. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant de Gourou entre 1990 et 2005

Classes	Surfaces des classes en 1990 (en ha)	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Changements 1990-2005	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	219.24	150.26	-68.98	-31.46
Herbage	1083.46	646.73	-436.73	-40.31
Eau	2.21	2.29	0.08	3.42
URFMD	757.41	896.23	138.82	18.33
URHD	811.49	1178.31	366.82	45.20

Pendant cette période, l'on enregistre également, une augmentation des surfaces des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées (URFMD) ainsi que celles fortement densifiées (URHD) et les plans d'eau, tandis que les herbages et les forêts ont connu une diminution de leurs surfaces respectives. Sur la figure 5, nous pouvons observer la forte densification de l'espace urbain. En effet, les zones urbaines fortement densifiées ont progressé de 45.20 %, soit un ajout de 366.82 ha en passant de 811.49 ha en 1990 à 1178.31 ha en 2005. Dans la même dynamique, l'on note une augmentation de 18.33 % de la surface totale des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, passant de 757.41 ha en 1990, à 896.23 ha en 2005, soit une croissance de 138.82 ha. Aussi, pouvons-nous observer la progression des plans d'eau dont leur surface totale est passée de 2.21 ha en 1990 à 2.29 ha en 2005, soit une progression de 3.42 %. L'observation du tableau montre également que pendant la période de 1990 à 2005, plusieurs classes de l'occupation du sol ont connu une régression de leurs surfaces totales respectives. Ces changements sont observés avec les herbages et les forêts. En effet, la surface totale des herbages a régressé de 40.31 % car elle a évolué de 1083.46 ha en 1990 à 646.73 ha en 2005, soit une diminution de 436.73 ha. Concernant les forêts, l'on note une régression de 31.46 % de leur surface totale passant de 219.24 ha en 1990 à 150.26 ha en 2005.

3.3.3.2 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU SUR LA PÉRIODE 2005-2020

Les caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou des années 2005 et 2020 sont détaillées dans le tableau 11.

Tableau 11. Caractéristiques des classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou entre 2005 et 2020

Classes	Surfaces des classes en 2005 (en ha)	Surfaces des classes en 2020 (en ha)	Changements 2005-2020	
			Surface (en ha)	Surface (en %)
Forêt	150.26	78.45	-71.81	-47.79
Herbage	646.73	452.75	-193.98	-30
Eau	2.29	2.08	-0.21	-8.99
URFMD	896.23	962.80	66.57	7.43
URHD	1178.31	1377.73	199.43	16.92

En analysant les taux de changement des différentes classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours de la période 2005 à 2020, l'on remarque que:

- Ce bassin a subi des changements importants qui se manifestent par une progression des zones urbaines fortement densifiées de l'ordre de 16.92 %. En effet, ces zones urbaines ont connu une extension de 199.43 ha en passant de 1178.31 ha en 2005 à 1377.73 ha en 2020.
- De même, les zones urbaines moyennement et faiblement densifiées, ont connu une croissance de leur surface totale de l'ordre de 7.43 % en passant de 896.23 ha en 2005 à 962.80 ha en 2020, soit une augmentation de 66.57 ha.
- La superficie de forêt a très fortement diminué de 47.79 % en passant de 150.26 ha en 2005 à 78.45 ha en 2020, soit une baisse de 71.81 ha.
- Au niveau des plans d'eau, l'on a également une diminution de 0.21 ha, car leur surface totale qui était de 2.29 ha en 2005 est passée à 2.08 ha en 2020.
- Enfin, la surface des herbages a également baissé. Cette baisse est estimée à 30 %. En effet, la surface de cette classe est passée de 646.73 ha en 2005 à 452.75 ha en 2020, soit une baisse de 193.98 ha.

3.3.4 BILAN DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE BONOUMIN SUR LA PÉRIODE 1990-2020

La figure ci-dessous (Fig. 6), résume la dynamique de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin au cours de la période d'étude (1990 à 2020). Par contre le tableau 12 résume les calculs du taux de changements (en ha/an) pour les deux périodes sur lesquelles nous avons étudié la dynamique de l'occupation du sol: 1990 - 2005 (15 ans); et 2005-2020 (15 ans).

Tableau 12. Dynamique de l'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin de 1990 à 2020

Classes	Taux de changement (ha/an)	
	1990 - 2005	2005 - 2020
Forêt	-6.48	-0.85
Herbage	-104.79	-60.30
Eau	0.02	0.06
URFMD	11.39	47.27
URHD	99.85	13.82

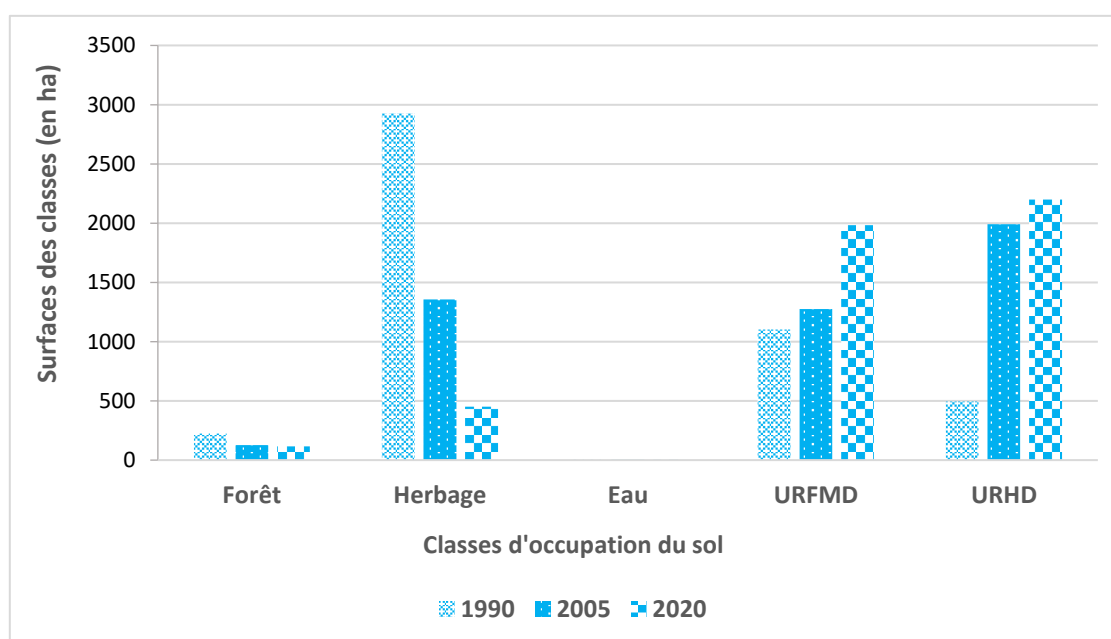


Fig. 6. Evolution des classes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin au cours de la période 1990 - 2020

L'analyse de la figure 6 et la lecture des taux de changement de chaque classe de l'occupation du sol, détaillés dans le tableau 12, permet de noter les observations suivantes:

- La diminution progressive de la surface des forêts sur toute la période d'étude. En effet, l'on remarque une forte dégradation de la surface totale des forêts, avec un taux de changement de 6.48 ha/an au cours des quinze (15) premières années. Par contre, au cours de la deuxième période (2005 – 2020), l'on observe une tendance à la stabilisation de cette dégradation car le taux de changement, au cours de cette période était estimé à -0.85 ha/an.
- Le taux de changement des herbages, qui était de -104.79 ha/an au cours de la période 1990 – 2005, a évolué progressivement pour atteindre un taux de changement de -60.30 ha/an au cours de la période 2005 – 2020.
- Au niveau des plans d'eau, le taux de changement est passé de 0.02 ha/an pendant les quinze (15) premières années de la période d'étude, à 0.06 ha/an au cours de la seconde période.
- Le taux de changement des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées a connu une croissance sur les deux périodes d'étude. En effet, au cours de la première, l'on note une croissance de 11.39 ha/an, alors que sur la deuxième période d'étude, cette croissance a été estimée à 47.27 ha/an.
- Les zones urbaines fortement densifiées, ont connu un fort taux de changement, au cours de la période 1990 – 2005, estimé à 99.85 ha/an. Mais sur la période 2005 – 2020, l'on constate que la croissance du taux de changement s'est effectuée de façon modérée, car elle a été estimée à 13.82 ha/an.

3.3.5 BILAN DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU GOUROU SUR LA PÉRIODE 1990-2020

La figure 7 renseigne sur la dynamique des différentes classes de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou, au cours de la période 1990–2020. Tandis que, le tableau 13 résume les calculs du taux de changements (en ha/an) pour les deux périodes sur lesquelles l'on a étudié la dynamique de l'occupation du sol: 1990 - 2005 (15 ans); et 2005-2020 (15 ans).

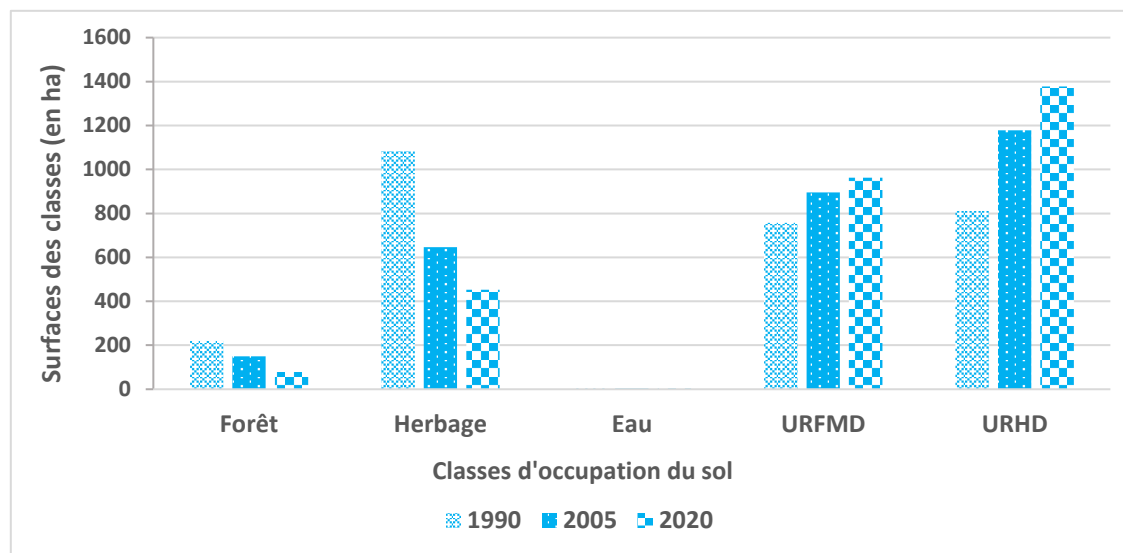


Fig. 7. Evolution des classes d'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours de la période 1990 – 2020

Tableau 13. Dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou de 1990 à 2020

Classes	Taux de changement (ha/an)	
	1990 - 2005	2005 - 2020
Forêt	-4.60	-4.79
Herbage	-29.12	-12.93
Eau	0.01	-0.01
URFMD	9.25	4.44
URHD	24.45	13.30

L'observation de la figure 7 et l'analyse du tableau 13, permettent de connaître la dynamique de chaque classe de l'occupation du sol du bassin versant du Gourou au cours de la période 1990 – 2020. Ainsi, au cours de cette période, l'on fait les remarques suivantes:

- Une dégradation progressive de la surface de forêt tout au long de la période d'étude (de 1990 à 2020). En effet, au cours de la première période (1990 – 2005), l'on note un taux de changement de -4.6 ha/an, tandis que pendant la deuxième période (2005 à 2020), le taux de changement est de -4.79 ha/an.
- Au niveau des herbages, l'on note également une forte dégradation de leur surface pendant la période 1990 - 2005, avec un taux de changement de -29.12 ha/an. Par ailleurs, notons que cette dégradation de la surface des herbages a continué au cours de la période 2005 – 2020, où le taux de changement a été estimé à -12.93 ha/an.
- Au niveau des plans d'eau, l'on enregistre une faible augmentation de leur surface sur la période 1990 à 2005 avec un taux de changement de 0.01 ha/an. Cependant, au cours de la période 2005 – 2020, l'on note une faible diminution de leur surface avec un taux de changement de -0.01 ha/an.
- Contrairement aux trois (03) premières classes, l'on note que la surface totale des zones urbaines moyennement et faiblement densifiées a évolué positivement tout au long de la période d'étude (1990 – 2020). Ainsi, au cours de la première période, c'est-à-dire de 1990 – 2005, l'on constate que cette croissance était plus forte avec des taux de changement de 9.25 ha/an, alors que pendant la deuxième période (2005 – 2020), l'on a enregistré un taux de changement de 4.44 ha/an.
- En ce qui concerne les zones urbaines fortement densifiées, l'on remarque que leur surface totale n'a pas cessé de croître pendant toute la période d'étude. Cependant, notons que le taux de changement a été plus fort au cours des quinze (15) première années avec un taux de changement moyen estimé à 24.45 ha/an. Alors que, pendant les quinze dernières années de la période d'étude, le taux de changement a baissé avec une valeur estimée à 13.30 ha/an.

4 DISCUSSION

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou a été faite à partir des images Landsat TM de 1990, ETM+ de 2005 et OLI de 2020. La méthode de classification supervisée par l'algorithme du maximum de vraisemblance appliquée à ces images a permis de différencier l'occupation du sol des deux bassins versants en cinq (05) classes telles que la forêt, l'herbage, l'eau, les zones urbaines faiblement et moyennement densifiées ainsi que celles fortement densifiées.

Les valeurs de précision globale obtenues à la suite de la classification des différentes images du bassin versant de Bonoumin, varient de 89.55 % en 2020 à 99.33 % en 1990. Tandis que pour le bassin versant du Gourou, les valeurs de la précision globale croissent de 97.24 % en 1990 à 99.63 % en 2005. Quant aux indices de Kappa, les valeurs obtenues évoluent de 0,89 en 2020 à 0,99 en 1990, pour les classifications des différentes images du bassin de Bonoumin, alors que dans le bassin du Gourou, elles fluctuent entre 0,96 en 1990 et 0,99 en 2005. Au regard de ces différentes valeurs de la précision globale et de l'indice de Kappa, on peut donc conclure que les résultats de la classification des trois images dont il est question dans cette étude, sont statistiquement meilleurs. Car, selon plusieurs auteurs, les résultats d'une classification, peuvent être considérés comme satisfaisants lorsque la valeur de la précision globale est supérieure ou égale à 80 % [17], [18], [19]. Par ailleurs, selon [20] cité par [9], une classification peut être acceptée et les résultats peuvent être judicieusement utilisés lorsque la valeur du coefficient de Kappa obtenue est comprise entre 0.50 et 0.75. Également selon [21], il y a un accord presque parfait entre les résultats cartographiques obtenus et la vérité sur le terrain si l'indice de Kappa est compris entre 0,81 et 1.

De plus, l'analyse des cartes d'occupation du sol de 1990, 2005 et 2020 dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou, a montré de façon générale une diminution des superficies des formations végétales (forêt et herbage) au profit de celles des formations imperméabilisées (zones urbaines moyennement et fortement densifiées) qui ont connues une augmentation au cours de ces trois (03) décennies prises en compte dans cette étude. En effet, en 1990 et 2005, les surfaces des zones imperméabilisées sur le bassin de Bonoumin (4,74 % et 26,9 % respectivement), était nettement inférieure à celles sur le bassin versant du Gourou qui présentait des proportions de surfaces imperméabilisées de 10,91 % et de 39,07 % respectivement pour ces deux années. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au cours des années 1990 et le début des années 2000, l'urbanisation dans la ville d'Abidjan se faisait principalement dans les communes et quartiers situés dans le bassin du Gourou. C'est le cas de la commune d'Adjamé et de plusieurs quartiers des communes de Cocody et d'Abobo dont les Deux-Plateaux, Cocody Centre, Dokui, Samaké, Abobo Gare et Abobo Banco).

Cependant, à un moment donné, compte tenu du fait que la plupart de ces communes sont situées en centre-ville, l'on remarquera une tendance à la stabilisation des surfaces imperméabilisées. C'est ce qui explique la légère augmentation de la proportion de surface imperméabilisées dans le bassin du Gourou passant de 39,07 % en 2005 à 51,06 % en 2020. A l'opposé, il est notoire de constater une forte augmentation de la proportion de ces surfaces imperméabilisées sur le bassin de Bonoumin passant de 26,9 % en 2005 à 51,7 % en 2020. En effet, à la différence du bassin versant du Gourou (localisé maintenant en centre-ville), plusieurs endroits du bassin versant de Bonoumin se trouvent depuis quelques années confrontés à une forte pression anthropique. Car, les nouvelles terres à lotir se faisant de plus en plus rare sur le bassin versant du Gourou, l'urbanisation se fait majoritairement sur le bassin de Bonoumin, principalement dans la commune de Cocody et d'Abobo, en pleine extension spatiale. Par ailleurs, la crise socio-politique qu'a connue la Côte d'Ivoire de 2002 à 2011, a provoqué le déplacement d'un grand nombre de population, fuyant la guerre, pour se réinstaller dans la ville d'Abidjan. Cette vague de migration interne a contribué à l'accroissement des surfaces imperméabilisées dans les deux bassins versants. Mais elle s'est beaucoup fait sentir dans le bassin de Bonoumin que dans celui du Gourou.

Aussi, remarquons nous que, sur les différentes cartes d'occupation du sol du bassin versant de Bonoumin, l'urbanisation s'est faite de l'aval vers l'amont. Ainsi, comme l'on peut le constater sur ces cartes, surtout celle de 2020, l'amont de ce bassin versant subit une urbanisation galopante ces dernières années. Or c'est bien sur ce bassin que les dégâts socio-économiques liés aux inondations, sont les plus importants, comme en témoignent ceux de 2018 et 2020. De ce faite, il est important de prêter une attention particulière à ce bassin en construisant d'avantages d'ouvrages de gestion et de drainage des eaux pluviales. Car, il se peut que d'ici quelques années, que l'on fasse face à de graves inondations par ruissellement pluvial.

5 CONCLUSION

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans les bassins versants de Bonoumin et du Gourou, a montré une dynamique impressionnante des surfaces imperméabilisées, représentées par les zones urbaines moyennement et fortement densifiées. Ces surfaces ont beaucoup augmentées au cours de ces trois (03) dernières décennies. Cependant, notons que contrairement aux surfaces imperméabilisées, les surfaces végétalisées quant à elles, ont beaucoup régressées. En effet, dans le bassin versant de Bonoumin, les surfaces imperméabilisées sont passées de 1596,84 ha en 1990 à 4181,55 ha en 2020, alors les surfaces végétalisées, quant à elles ont régressé de 3151,87 ha en 1990 à 565,63 ha en 2020. De même, dans le bassin versant du Gourou, l'on note une régression des surfaces végétalisées passant de 1302,7 ha en 1990 à 531,2 ha en 2020, alors que les surfaces imperméabilisées, quant à elles ont connu une croissance de leur superficie en évoluant de 1568,9 ha en 1990 à 2340,53 ha en 2020. L'augmentation de ces zones urbaines a eu pour conséquence, une diminution de l'infiltration et une augmentation des eaux de ruissellement à la suite des épisodes pluvieux. Aussi, faut-il remarquer que l'amont du bassin

versant de Bonoumin subit depuis quelques années une forte pression anthropique. Ce qui signifie que d'ici quelques années encore, il y aura une forte augmentation de la quantité d'eau de ruissellement et une diminution considérable des eaux d'infiltration. Pour cela, l'on doit prêter une attention particulière à la construction et à l'entretien des ouvrages de gestion et de drainage des eaux pluviales sur ce bassin. Il peut être aussi envisagé la création de zone tampon pour faciliter l'infiltration des eaux et diminuer le ruissellement.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à traduire leur gratitude à l'endroit de toutes les personnes qui ont contribué au financement de cette étude. Ils remercient également toutes les personnes physiques ou morales ayant contribué à l'amélioration de ce travail.

REFERENCES

- [1] Recensement général de la population d'avril 1975. Région FRAR sud-ouest: résultats définitifs, Côte d'Ivoire.
- [2] Institut National de la Statistique-Recensement général de la population et de l'habitation, Côte d'Ivoire, 2021.
- [3] GIEC, 2007, Bilan 2007 des changements climatiques: rapport de synthèse, Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Genève, 103 p.
- [4] D. R. Easterling, A. M. Gerald, P. Camille, Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. Science, Vol. 289, No. 5487, pp. 2068 - 2074, 2000. <http://dx.doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>.
- [5] GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Rapport de synthèse: changements climatiques, Copenhague, 184 pages, 2014.
- [6] K. P. Aka, Y. B. Koffi, A. Kamagaté, K. E. Ahoussi, A. M. Kouassi, Morphometric Analysis of Topographic Surfaces in Highly Urbanized Tropical Environments: Case of the Bonoumin and Gourou Watersheds (Abidjan, Ivory Coast, West Africa), *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, Vol. 8, ISSN No: -2456-2165, pp. 2183, September – 2023.
- [7] Y. M-S. Oga, Groundwater resources in the greater Abidjan region (Ivory Coast): Hydrochemical and isotopic Approaches, Doctoral thesis in Science, University of Paris-Sud, Orsay, France, 290p, 1998.
- [8] B. Adiaffi, Contribution of isotope geochemistry, hydrochemistry and remote sensing to the understanding of aquifers in the «basementsedimentary basin» contact zone of south-eastern Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat Unique Doctoral thesis in Science, University of Paris-Sud, Orsay, France, 230 p, 2008.
- [9] A. Kamagaté, Dynamique hydromorphologique des milieux lacustres anthropisés et de leurs bassins versants dans un contexte de variabilité climatique: approche par cartographie et modélisation prospective dans la région du Poro (Nord de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat Unique, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 237 p, 2021.
- [10] M. K. A. Kablan, Vulnérabilité et adaptation des populations urbaines aux effets des variations climatiques (température et pluviométrie): analyse de la situation dans la commune de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 172 p, 2017.
- [11] V.T. Nghiem, Impact du changement du mode d'occupation des sols sur le fonctionnement hydrogéochimique des grands bassins versants: cas du bassin versant de l'Ain, Thèse de Docteur de l'Université de Grenoble, 306 p, 2014.
- [12] J.R. Anderson, Land use classification schemes used in selected recent geographic applications of remote sensing: Photogramm, Eng., vol. 37, no. 4, pp. 379-387, 1971.
- [13] B. Tso and P. M. Mather, Classification Methods for Remotely Sensed Data, London: Taylor & Francis, 2001.
- [14] P.M. Mather, Computer Processing of Remotely Sensed Images: An introduction. 3rd ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England, 2004.
- [15] ITT Inc., ENVI Online Help, Version 4.5. USA: ITT Corporation, USA, 2008.
- [16] W. Turner, Remote sensing for biodiversity science and conservation, Revue of TRENDS in Ecology and Evolution, Vol. 18, No. 6, pp 306-314, 2003.
- [17] G. R. Congalton, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, Remote Sensing of Environment. 46: 35-37, 1991.
- [18] M. C. GIRARD et C. M. GIRARD, Traitement des données de télédétection, Dunod, Paris, 529 p, 1999.
- [19] G. M. Foody, Status of land cover classification accuracy assessment, Remote Sensing of Environment, Vol. 8, pp. 185–201, 2002.
- [20] J. R. G. Pontius, Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and remote sensing, Vol. 66, No. 8, pp. 1011- 1016, 2000.
- [21] S. Chalifoux, M. Nastev, C. Lamontagne et R. Latifovic, Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie, Télédétection, Vol. 6, No. 1, pp. 9-17, 2006.

Impact de l'agroforesterie sur la productivité durable des sols cacaocultivés au centre de la Côte d'Ivoire

[Impact of agroforestry on the sustainable productivity of cocoa-growing soils in central Côte d'Ivoire]

Kouame Amany Guillaume¹, N'Ganzoua Kouamé René¹, Kouadio Koffi Hypolith¹, Salla Moreto², and Bakayoko Sidiky¹

¹Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Département de Agro-pédologie, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Département de Biologie, Physiologie et de Génétique UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of the study was to assess the impact of cocoa-based agroforestry practices on natural soil productivity. The methodology consisted in identifying three cocoa-based agroforestry systems (simple, mixed or complex) guided by the opening of the canopy of various floristic species associated with cocoa trees, in which three 100 m² plots were randomly set up to inventory the arboricultural species encountered, determine species density and plantation yields. The results identified 17 tree families divided into 27 plant species, of which 55.55% were found in the simple agroforestry system (SAGS), with a density of 55 trees/hectare, 70.37% in the mixed agroforestry system (SAGM), with a density of 155.33 trees/hectare, and 81.40% in the complex agroforestry system (SAGC), with a density of 224.33 trees/hectare. In terms of particle size, the SAGS and SAGC had a silty texture, whereas the SAGM had a silty-clay texture. Major element, trace element and clay-humus complex contents were satisfactory in all agroforestry systems, but in decreasing order in SAGM, SAGC and SAGS. Cocoa productivity was higher in SAGS (403.42kg/ha), than in SAGM (293.61kg/ha) and SAGC (204.68kg/ha). In conclusion, it should be noted that each forest agrosystem has very distinct characteristics and contributes to soil fertility at depths of 0-20cm. Moreover, SAGS is the agroforestry system with the best production and can be recommended during the establishment of cocoa plantations in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: Agrosystems, Cocoa, Productivity, Fertility, Soils, Ivory Coast.

RESUME: L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact des pratiques agroforestières à base cacaoyers sur la productivité naturelle des sols. La méthodologie a consisté à identifier trois systèmes agroforestiers à base cacaoyers (simple, mixte ou complexe) guidés par l'ouverture de la canopée des diverses espèces floristiques associées aux cacaoyers dans lesquels, ont été posées au hasard trois placettes de 100 m² pour inventorier des espèces arboricoles rencontrées, déterminer la densité des espèces et les rendements des plantations. Les résultats ont permis de recenser au niveau floristique, 17 familles arboricoles réparties en 27 espèces végétales dont 55,55 % en système agroforestier simple (SAGS) avec une densité de 55 arbres/hectare, 70,37 % en système agroforestier mixte (SAGM) avec une densité de 155,33 arbres/hectare et 81,40% en système agroforestier complexe (SAGC) avec une densité de 224,33 arbres/hectares. Au niveau granulométrique, les SAGS et SAGC ont présenté une texture limoneuse alors qu'elle a été limono-argileuse en SAGM. Les teneurs en éléments majeurs, oligo-éléments et complexe argilo-humique engendrées, ont été satisfaisantes quel que soit le système agroforestier, mais dans un ordre décroissant en SAGM, SAGC et SAGS. La productivité des cacaoyers a été meilleure en SAGS (403,42 kg/ha), qu'en SAGM (293,61kg/ha) et en SAGC (204,68kg/ha). En conclusion, notons que chaque agrosystème forestier a des caractéristiques bien distinctes et contribue à la fertilité du sol à la profondeur 0-20cm. Par ailleurs, SAGS est le système

agroforestier qui a la meilleure production et peut être recommandé pendant la mise en place des plantations à base de cacaoyers en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Agrosystèmes, Cacaoyers, Productivité, Fertilité, Sols, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire est l'un des pays de l'Afrique de l'Ouest qui a fait de l'agriculture le pilier de son développement dès son accession à l'indépendance. Son économie est donc fortement dominée par l'agriculture, qui participe à plus de 28 % du produit intérieur brut (PIB) national avec 15 % résultant principalement de la cacaoculture [1]. Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), plante originaire des forêts humides d'Amérique tropicale, classé dans la famille des Malvaceae [2] est aujourd'hui la plante la plus cultivée en Côte d'Ivoire pour ses fèves dont la Côte d'Ivoire est le premier pays producteur au monde depuis plus de trois décennies [3]. Bien que la production nationale représente 40% des exportations et 35% de l'offre mondiale, le secteur du cacao en Côte d'Ivoire est de plus en plus confronté à plusieurs défis dont celui de la production lié à la déforestation, à la faible application des bonnes pratiques agricoles, au vieillissement des vergers, à la baisse de la fertilité des sols et au changement climatique [4, 5]. Pour faire face à ces différentes contraintes de la filière, la Côte d'Ivoire à travers la recherche scientifique a élaboré un programme national de développement durable de la filière basé sur l'agroforesterie [6, 8]. L'agroforesterie est définie comme un système agricole complexe intégrant des arbres dans les exploitations agricoles de sorte à réconcilier durablement la production agricole et la protection de l'environnement [9, 10]. Elle a pour avantage selon ces auteurs de maintenir ou voire augmenter le niveau de production en cacao marchand tout en stabilisant les zones de production existantes pour limiter au maximum la disparition des espaces forestiers, la désertification et le changement climatique. Pour certains pays producteurs, les pratiques agroforestières à cacao ne permettent pas économiquement d'espérer à un rendement élevé du cacao à cause de l'accroissement des dommages des animaux sauvages et des maladies cryptogamiques [11], et même le physique des cacaoyers qui, à la recherche de la lumière s'allonge rendant difficile la récolte des cabosses par moment [12]. C'est dans un contexte d'élucider un certain nombre de points d'ombre, quant aux bénéfices économiques que peuvent tirer les producteurs du cacao dans les pratiques agroforestières que s'inscrit cette étude. Elle vise principalement à évaluer l'impact des systèmes agroforestiers à base cacaoyers sur la productivité des sols afin de les pérenniser et soutenir la culture du cacao en Côte d'Ivoire.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Le travail a été réalisé dans le département de Toumodi à Niamké-konankro au centre en Côte d'Ivoire entre les latitudes 6°19'37 et 6°34'51N et les longitudes 5°19'58 et 5°20'02W en zone de transition forêt-savane (Figure1). Le climat est de type équatorial de transition avec une pluviométrie bimodale variant de 800 à 1090 mm/an, une température moyenne de 27°C et une humidité relative moyenne de l'air de 70%. La végétation est une mosaïque de savanes guinéennes dominées par des Poaceae (*Olyra latifolia*; *Leptaspis zeylanica*) et de forêts denses humides semi-décidues qui abritent des espèces d'arbres telles que des Sterculiaceae (*Triplochiton scleroxylon*; *Mansoniaaltissima*) des Moraceae (*Antiaris toxicaria* var. *africana*; *Milicia regia*), des Ulmaceae (*Celtis* spp.) et des Apocynaceae (*Funtumia elastica*). Les sols sont globalement des cambisols [13].

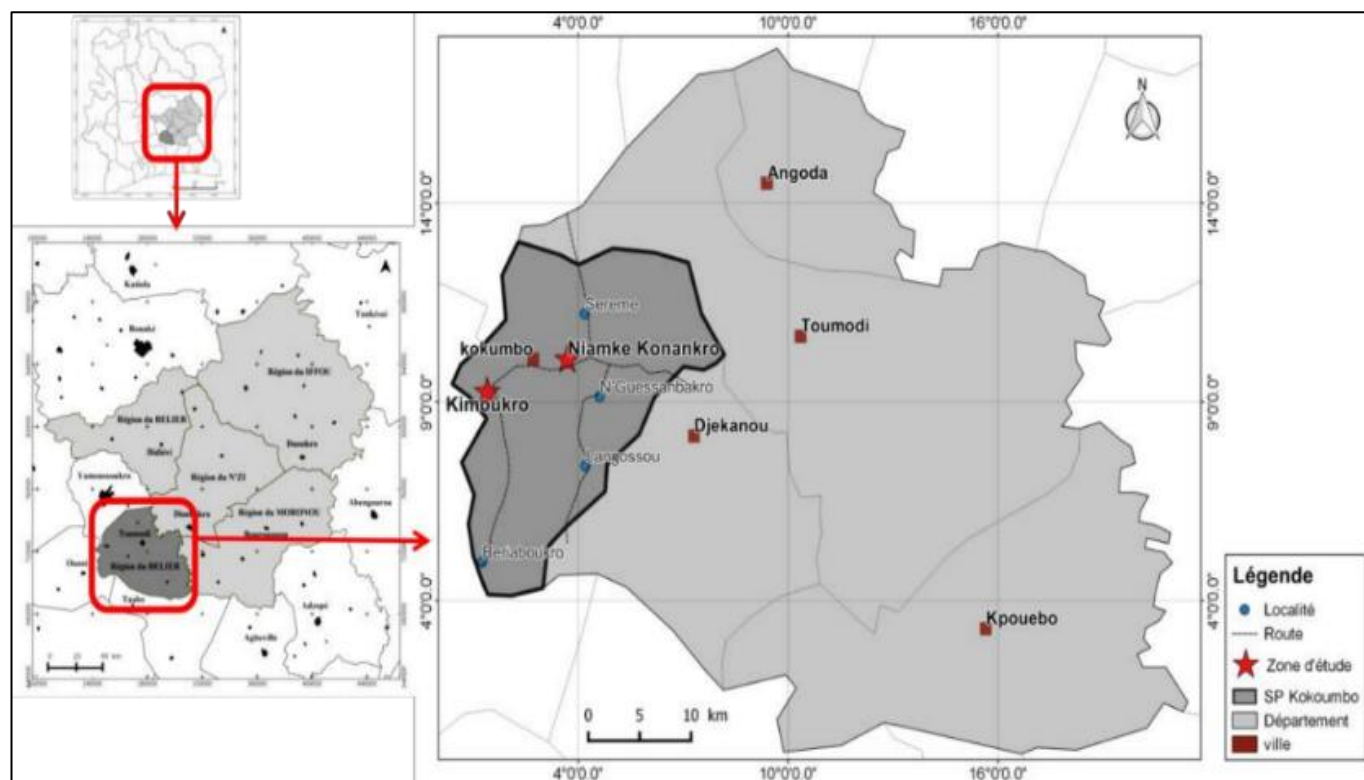


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude dans le département de Toumodi

2.2 MATERIEL VEGETATIF (LES SYSTEMES AGROFORESTIERS)

Dans la zone de Toumodi, Trois types d'agroforêts ou systèmes agroforestiers communément pratiqués par les cacaoculteurs ont été identifiés sur la base de leur canopée et de leur âge (Figure 2). Il s'agit des agrosystèmes à base de cacaoyers simple (SAGS), mixte (SAGM) et complexe (SAGC). Les systèmes agroforestiers simples sont caractérisés par une faible densité d'arbres associés à canopée ouverte et une forte proportion d'espèces végétales exotiques (Fig. 2A). Les systèmes agroforestiers complexes comportent une canopée fermée et une forte densité d'espèces végétales locales (Fig. 2B) et enfin les systèmes agroforestiers mixtes sont intermédiaires entre les deux précédentes et sont caractérisés par une canopée moyennement ouverte et une densité d'espèces locales moyenne (Fig. 2C).

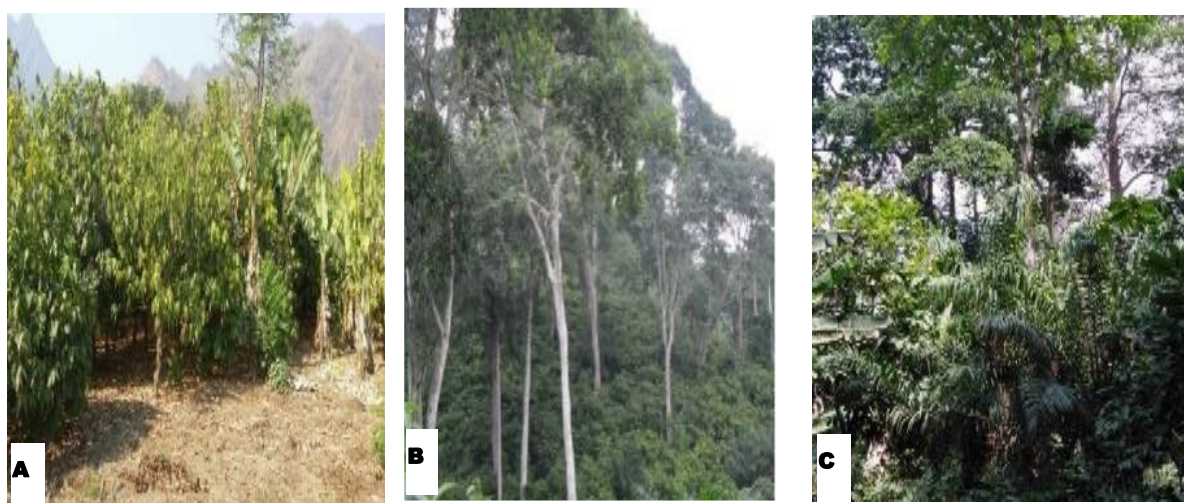


Fig. 2. Systèmes agroforestiers à base de cacaoyers pratiqués dans la zone de Toumodi
A: Agrosystème simple (SAGS); B: Agrosystème complexe (SAGC); C: Agrosystème mixte (SAGM)

2.3 METHODES

2.3.1 INVENTAIRE FLORISTIQUE DES AGROSYSTEMES

Sur le terrain, dans les trois agrosystèmes à base cacaoyers (simple, mixte et complexe) choisis, trois placettes délimitées de 100 m² ont été posées au hasard pour dénombrer les espèces et leurs groupes de familles rencontrées selon la méthode de Lebrun & Stork [14] et aussi déterminer leur densité.

2.3.2 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES SOLS DES SYSTEMES AGROFORESTIERS

Dans chaque placette, des prélèvements élémentaires du sol ont été effectués à la tarière dans l'horizon 0-20 cm en zigzag suivant la plus longue diagonale des agroforêts pour constituer l'échantillon composite à analyser au laboratoire. Les analyses de l'échantillon composite ont été faites au laboratoire des végétaux et des sols de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro-Côte d'Ivoire et ont porté sur la détermination de la granulométrie par la méthode par tamis [15], la mesure du pH par la méthode du pH-mètre électronique en verre dans un rapport sol/solution de 1/2,5 [16], la détermination des teneurs de carbone total par la méthode de Walkley et Black [17], et de matière organique en multipliant le pourcentage de carbone du sol par un facteur de conversion constante et égale à 1,724 à travers (%C x 1,724=MO) selon Bemmelen [18], d'azote total par la méthode de Kjeldahl [19], du phosphore assimilable par la méthode Olsen-Dabin [20], des bases échangeables et la capacité d'échange cationique par la méthode d'extraction par rinçage d'une solution d'acétate d'ammonium, du calcium et du magnésium par absorption atomique et du potassium par spectrophotométrie à flamme.

2.3.3 PRODUCTIVITE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS A BASE DE CACAOYERS

La productivité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers a été déterminée par la méthode du carré de densité et de rendement (CDR). Cette méthode consiste à poser trois placettes de 100 m² dans chacun des agrosystèmes à base de cacaoyers afin d'estimer la densité des pieds productifs et déterminer les paramètres du rendement moyen de la parcelle. Le principe consiste à compter le nombre de pieds (N1) à l'intérieur du CDR et à retenir la moitié du nombre de pieds (N2) se trouvant sur la limite du CDR. Ainsi, la densité Di du CDRi est déterminée par l'équation:

$$D_i = N_1 + N_2/2 \quad (1)$$

La densité ou le nombre de pieds à l'hectare a été calculée de la façon suivante:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \times 100 \quad (2)$$

Avec n: nombre de carrés par parcelle, Di: densité élémentaire

Le rendement moyen a été déterminé en considérant les cabosses et en récoltant et leurs fèves fraîches sur les pieds N1 l'intérieur du CDR et les N2/2 pieds se trouvant sur la limite du CDR. Le poids des fèves fraîches récoltées a été déterminé par simple pesé et le rendement potentiel en cacao marchand a été estimé selon l'équation suivante:

$$RDT = \frac{\sum_{i=1}^n N_{cab}}{n} \times (PF_m \times 0,34) \times 100 \quad (3)$$

Avec :

n: nombre de carrés par parcelle

Ncab: nombre moyen de cabosses par CDR

PF_m: poids moyen des fèves fraîches par cabosse

0,34: Coefficient de transformation de poids de fèves fraîches en fèves sèches

2.4 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

L'analyse des données a été faite à l'aide de méthodes de statistique descriptive et d'analyses de variance (ANOVA) réalisée avec le logiciel SAS version 9.4. Les moyennes ont été séparées au moyen du test de Newman et Keuls au seuil $\alpha=0,05$. Des analyses des composantes principales (ACP) ont été faites avec le logiciel CANOCO pour établir des relations entre les paramètres physico-chimiques, les paramètres du rendement et les agrosystèmes.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES DES AGROSYSTEMES À BASE CACAoyERS

L'inventaire des espèces arboricoles associées dans les systèmes agroforestiers à base cacaoyers est présenté dans le Tableau 1. Au total 27 espèces d'arbres locales, regroupées en 17 principales familles ont été recensées au cours de l'étude. On dénombre les espèces de la famille des Anacardiaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Bombacaceae, Caricaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Ingingiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Mimosaceae, Moraceae, Musaceae, Myristicaceae, Rutaceae, Sterculiaceae, Verbenaceae. Aussi, sur les 27 espèces végétales recensées, 15 ont été identifiées en système agroforestier simple (SAGS) soit 55,55 %, des espèces, 19 ont été présentes en système agroforestier moyen (SAGM) soit 70,37 % des espèces et 22 espèces en système agroforestier complexe (SAGC) soit 81,40 % des espèces végétales. Dans la repartition globale, on note que certaines espèces végétales recensées sont présentes dans les trois systèmes agroforestiers alors que d'autres espèces végétales ne sont présentes que dans deux ou un seul des agroforêts. Plus explicitement, on a noté que les espèces appartenant à la famille des Anacardiaceae, Arecaceae, Bombacaceae Euphorbiaceae et des Sterculiaceae ont été présentes dans les trois systèmes agroforestiers (SAGS, SAGM et SAGC) avec 32,14 % des espèces végétales recensées. Les Combretaceae, Meliaceae, Mimosaceae, Moraceae, et les Verbenaceae ont été plus représentatives dans les système agroforestiers SAGM et SAGC avec plus de 28, 57 % des espèces végétales alors que les Caricaceae Lauraceae, Musaceae, Rutaceae, et les Sterculiaceae ont été identifiées pour 25 % des espèces dans les systèmes agroforestiers SAGS et SAGC. Les Anacardiaceae et Apocynaceae avec 7,14 % des espèces ont été dans les systèmes agroforestiers SAGM) et SAGS. De même les Ingingiaceae et Moraceae ainsi que les Myristicaceae et les Sterculiaceae ont été seulement représentatives dans chacun des systèmes agroforestiers avec 7, 14 % des espèces végétales.

Tableau 1. Espèces végétales associées dans la cacaoculture dans la zone d'étude

	Familles des espèces associées	Espèces végétales associées	Identifiées dans les agrosystèmes		
			SAGS	SAGM	SAGC
	Apocynaceae	<i>Alstonia boonei</i>	+	+	-
	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	+	+	-
		<i>Spondias mombin</i>	+	+	+
	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i>	+	+	+
	Bombacaceae	<i>Bombax buonopozense</i>	+	+	+
	Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	+	-	+
	Combretaceae	<i>Terminalia superba</i>	-	+	+
	Euphorbiaceae	<i>Ricinodendron Heudelotii</i>	+	+	+
	Invingiaceae	<i>Irvingia gabonensis</i>	-	-	+
	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	+	-	+
	Meliaceae	<i>Khaya grandifoliola</i>	-	+	+
		<i>Entandrophragma angolense</i>	-	+	+
	Mimosaceae	<i>Albizia zygia</i>	-	+	+
	Moraceae	<i>Milicia sp</i>	-	+	+
		<i>Antiaris Africana</i>	-	+	-
		<i>Ficus mucuso</i>	-	+	+
	Musaceae	<i>Musa spp</i>	+	-	+
	Myristicaceae	<i>Pycnathus angolensis</i>	-	+	-
	Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	+	-	+
		<i>Citrus grandis</i>	+	-	+
		<i>Citrus sinensis</i>	+	-	+
	Sterculiaceae	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	-	+	-
		<i>Cola nitida</i>	+	+	+
		<i>Cola gigantea</i>	+	-	+
	Verbenaceae	<i>Vitex sp</i>	-	+	+
Répartition des espèces	17	27	55,55%	70,37%	81,48%

(+) = présence de l'espèce, (-) = absence de l'espèce;

SAGS= Système agroforestier simple; SAGM= Système agroforestier mixte; SAGC= Système agroforestier complexe

3.1.2 DENSITÉ DES ESPÈCES VÉGÉTALES ASSOCIÉES AUX AGROSYSTÈMES À BASE CACAoyERS

La densité à l'hectare de l'ensemble des arbres associés au cacaoyers dans chaque système agroforestier a été déterminée (Tableau 2). Les valeurs moyennes obtenues indiquent qu'il existe aussi bien un effet significatif ($p = 0,05$) des systèmes agroforestiers sur la densité des cacaoyers que sur celle des espèces associées. En effet, la densité des cacaoyers en SAGS (1456, 67 arbres/hectares) a été plus élevée que celle des SAGM et SAGC qui affichent des valeurs statistiquement identique de l'ordre de 1120 à 1206 arbres/hectares. De même, les agrosystèmes ont significativement influencé la densité des espèces végétales. Cela s'est traduit par une faible densité des espèces arboricoles dans le SAGS (55 arbres/hectare) contre 155 arbres/hectares pour SAGM et 224 arbres/hectares pour SAGC. Plus explicitement, plus la densité des cacaoyers est élevée dans la plantation comme l'indique le système agroforestier simple (SAGS), moins on y rencontre des arbres associés et vis-versa.

Tableau 2. Densité de cacaoyers et des espèces végétales associées en fonction des agrosystèmes.

Agrosystèmes	Densité des espèces végétales dans les agrosystèmes à l'hectare	
	Densité des cacaoyers	Densité des espèces végétales associées aux cacaoyers
SAGS	1456,67a	55,00c
SAGM	1206,67b	155,33b
SAGC	1120,00b	224,33a
Moy. Gle	1261, 11	144, 88
Coéf.Va (%)	7, 925	19, 986
Pr > F	< 0, 0149	< 0, 0011

Les valeurs dans la même colonne suivie par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$

3.1.3 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Le Tableau 3 présente les proportions des particules granulométriques (argile, limon et sable) observées à la profondeur 0-20 cm des différents systèmes agroforestiers. Elles indiquent qu'il n'y a aucune différence statistiquement significative entre les valeurs moyennes des particules granulométriques du sol quel qu'en soit l'agrosystème simple, mixte ou complexe. En revanche, la comparaison entre les proportions des particules dans les couches 0-20 cm des agrosystèmes indique une différence significative entre les valeurs moyennes des particules du sol. De façon plus spécifique, le taux d'argile a été plus élevé en SAGM (29,02 %), en SAGC (21,77 %) et en SAGS (14,25 %) par ordre décroissant. Pour ce qui concerne le limon, une différence significative affiche une proportion faible (38,25%) dans la couche 0-20cm en SAGM alors qu'elle a été élevée et statistiquement identique (42 à 46 %) en SAGS et SAGC. Au niveau du sable, aucune différence significative n'a été observée. Des proportions des particules granulométriques du sol des agrosystèmes, se dégage deux types de textures fondamentales: la texture limoneuse en SAGS et SAGC et la texture limono-argileuse en SAGM si l'on se réfère au triangle textural.

Tableau 3. Granulométrie des sols des systèmes agroforestier

Paramètres	Granulométrie des sols dans la couche 0-20 cm en pourcentage		
	SAGS	SAGM	SAGC
Argile	14,25aC	29,02aA	21,77aB
Limon	46,95aA	38,25aB	42,77aA
Argile + Limon	69,54aA	67,26aA	64,54aA
Sable	30,55aA	32,74aA	36,45aA
Texture	Limoneuse	Limono-argileuse	Limoneuse

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$ sur une ligne pour les majuscules et dans la colonne pour les minuscules respectivement

3.1.4 CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Les résultats des différentes analyses chimiques des sols sous cacaoyers des différents agrosystèmes sont consignés dans le Tableau 4.

3.1.4.1 PH DU SOL

La comparaison des valeurs moyennes des pH indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les pH des sols à la profondeur 0-20cm pour tous les agrosystèmes (SAGS, SAGM et SAGC). Par ailleurs, ces pH varient entre 6,70 et 7,00 et indique un sol peu acide à neutre quel que soit le système agroforestier

3.1.4.2 MATIÈRE ORGANIQUE ET ÉLÉMENTS MAJEURS DU SOL ÉTUDIÉ

On observe qu'aucune différence significative n'a été enregistrée dans la couche 0-20 cm pour le taux de matière organique-MO et du carbone-C, la teneur en azote total-Nt et la teneur en phosphore assimilable-Pass en SAGS et SAGC alors que en SAGM ces paramètres ont affiché des valeurs moyennes significatives. De façon plus explicite, les différentes teneurs des éléments minéraux (MO, C, N, Pass) ont été plus élevées en SAGM qu'en SAGS et SAGC témoignant ainsi une bonne minéralisation et humification de la matière organique dans les horizons de ce système agroforestier.

3.1.4.3 CATIONS ECHANGEABLES ET CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE DES SOLS ETUDIES

On note qu'aucune différence significative des valeurs moyennes des teneurs des cations échangeables n'a été observée entre les différents agrosystèmes à la profondeur 0-20 cm quel que soit l'agrosystème, excepté le magnésium-Mg et la CEC qui ont affiché des valeurs moyennes significatives en SAGS, de même que le magnésium-Mg et la somme des bases-SBE en SAGM. Par ailleurs, on a noté dans l'ensemble que, les valeurs moyennes des cations échangeables et capacité d'échange cationique ont été aussi plus élevées en SAGM que les autres systèmes agroforestiers bien que statistiquement aucune différence notable n'a été observée.

Tableau 4. Valeurs des analyses chimiques des sols des agrosystèmes

Paramètres	Valeurs des éléments chimiques des agrosystèmes à base de cacaoyers à 0-20cm de profondeur		
	SAGS	SAGM	SAGC
pH eau	6,70a	6,85a	7,00a
M.org. (p.c.)	15,86a	19,90a	19,23a
Carb (p.c.)	9,22a	11,52a	11,18a
Ntotal (p.c.)	0,71a	0,87a	0,83a
C/N	12,91a	13,23b	13,46a
Pass (ppm)	103,45a	107,25a	101,43a
Ca (cmol.kg-1)	4,93a	6,31a	6,41a
Mg (cmol.kg-1)	2,96a	3,87a	3,37a
K (cmol.kg-1)	0,09a	0,11a	0,11a
Na (cmol.kg-1)	0,18a	0,13a	0,13a
SBE (cmol.kg-1)	8,17a	10,43a	10,02a
CEC (cmol.kg-1)	28,00a	30,60a	23,53a
V (%)	29,37a	34,17a	38,30a

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$ sur une ligne pour les majuscules entre agrosystème et pour les minuscules entre couches d'un agrosystème respectivement)

3.1.5 RENDEMENT DES PLANTATIONS CACAOYERES SOUS AGROSYSTEMES

Les paramètres du rendement rendant compte de la production des plantations cacaoyères sous les différents agrosystèmes sont présentés dans le Tableau 5. Il ressort de l'analyse de ce tableau que les paramètres du rendement sont significativement ($P < 0,05$) affectés les systèmes agroforestiers. Explicitement, la comparaison des moyennes des paramètres du rendement en agrosystème simple (SAGS) montre des moyennes du rendement plus élevées que celles des agrosystèmes moyen (SAGM) et complexe (SAGC) respectivement dans un ordre décroissant. Cela dénote qu'une plantation cacaoyère en agrosystème simple (SAGS) est la plus productrice, suivie d'une plantation cacaoyère en agrosystème moyen (SAGM) et complexe (SAGC).

3.1.6 LIEN ENTRE PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL, RENDEMENT ET AGROSYSTEMES

La Figure 3 établit la relation entre les caractéristiques physico-chimiques du sol et le rendement des cacaoyers selon les agrosystèmes. On note que les différents paramètres sont variablement liés aux paramètres de rendement et à la productivité selon le type d'agrosystèmes. Globalement, bien qu'il existe une relation positive ou négative entre les paramètres physico-chimiques du sol caractérisant ses paramètres de fertilité avec ceux du rendement déterminant la productivité des agrosystèmes à base de cacaoyers, il convient d'indiquer que, au niveau chimique, tous les paramètres déterminés sont positivement liés aux paramètres de rendement et à la productivité dans l'agrosystème mixte, excepté pour le sodium-Na qui a indiqué un lien négatif aussi bien sur l'axe1 que l'axe 2 respectivement avec l'agrosystème de simple. De même pour le phosphore assimilable, une relation positive sur l'axe 2 et négative sur l'axe1 a été notée en agrosystème complexe.

Tableau 5. Rendement des cacaoyers sous les agrosystèmes étudiés

Agrosystèmes	Rendement des plantations cacaoyères à l'hectare							
	Nb cab.	Pmoy/cab	Nb Fèv. / cab	PF Fèv.	PS Fèv.	Prod. PC	Prod. GC	Prod/ An
SAGS	9366,7a	126,68a	56,66a	1186,52a	403,42a	100,85a	302,56a	403,42a
SAGM	8000,0b	107,94b	53,33b	863,55b	293,61b	66,06b	227,55b	293,61b
SAGC	5833,3c	103,22c	50,00c	602,00c	204,68c	nd	204,68c	204,68c
Moy. Gle	7733,33	11,61	53,33	884,02	300,57	55,64	244,93	300,57
Coéf.Var (%)	3,05	0,75	2,58	2,91	2,91	2,98	,08	2,91
P > F	<, 0001	<, 0001	0,0031	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001

Les valeurs dans la même colonne suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$

Nb cab = nombre de cabosse; Pmoy/cab = poids moyen par cabosse; Nb Fèv/cab = nombre de fèves par cabosse; PF Fèv = poids frais des fèves; PS Fèv = poids sec des fèves; Prod. PC = production en petite campagne; Prod. GC = production en grande campagne; Prod/An = production annuelle; nd = non déterminé

Toutes ces relations chimiquement établies avec les paramètres de rendement ont été des relations de moyenne intensité excepté pour le potassium-K et le sodium-Na qui ont eu une relation relativement faible avec les différents agrosystèmes. Pour ce qui concerne, les paramètres de granulométrie, le sable grossier-Sg et l'argile-Ar sont plus liés et positivement sur les deux axes 1 et 2 aux paramètres de rendement dans l'agrosystème mixte-SAGM alors que le limon fin-Lf, le limon total-LT et le sable fin-Sf, affichent une relation négative avec les paramètres du rendement et de la productivité sur les deux axes en agrosystème simple. Seul, le limon grossier-Lg a indiqué une relation positive et négative respectivement sur les axes 2 et 1 en agrosystème complexe. Le sable total-ST et la somme argile et le limon total-Ar+LT, n'ont pas véritablement influencé les paramètres de rendement et donc la productivité quel que soit l'agrosystème. Ces relations de granulométrie quoi que positives ou négatives avec le rendement, ont été de fortes relations avec respectivement le limon fin, le limon total, le sable fin et le sable grossier, moyenne avec l'argile et de faible relation avec le limon grossier dans les différents agrosystèmes.

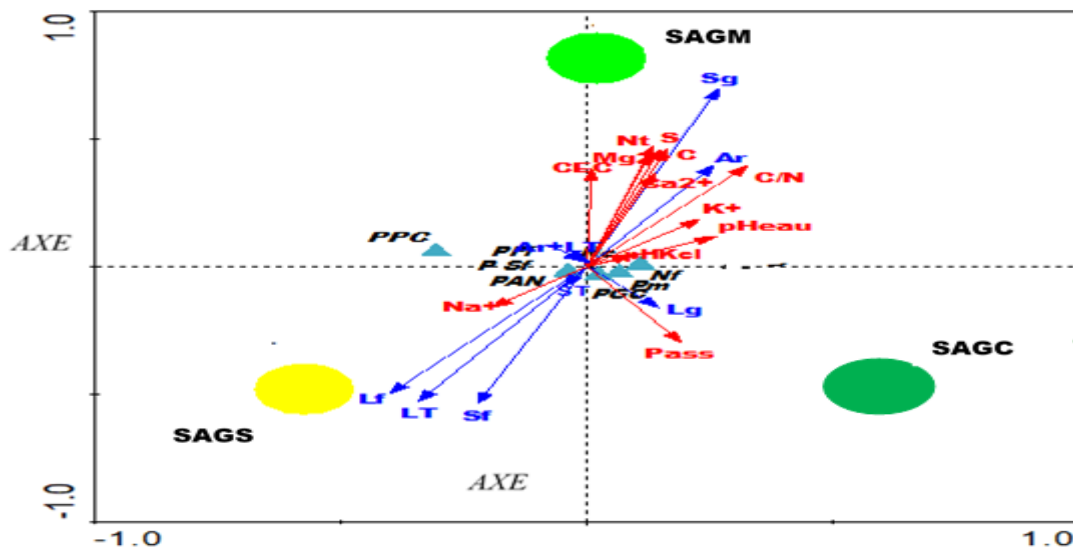


Fig. 3. Rélation entre le rendement et les paramètres physico-chimiques des sols selon les agrosystèmes.

Les cercles sont les agrosystèmes: en jaune = SAGS: Agrosystème simple; en vert clair = SAGM: Agrosystème mixte; en vert foncé = SAGC: Agrosystème complexe. Les flèches bleues sont les paramètres physiques de granulométries: Ar: Argile; Lf: Limon fin; Lg: Limon grossier; LT: Limon total; Sf: sable fin; Ar+LT: Argile + Limon; Sg: sable grossier; ST: Sable Total. Les flèches rouges sont les paramètres chimiques: pH (eau); C: Carbone organique; Nt: Azote total; C/N: carbone sur l'azote; Pass: phosphore assimilable; Ca: Calcium; Mg: Magnésium; Na: Sodium; S: Somme des bases échangeables; CEC: Capacité d'échange cationique. Les triangles bleu-ciel sont les paramètres de rendement: Nc: Nombre de cabosses; Pm: Poids moyen des fèves /cabosse; Nf: Nombre de fèves /cabosse; Pff: Poids Frais des fèves; PSf: Poids sec des fèves; PPC: Production petite Campagne; PGC: Production Grande Campagne; Pan: Production Annuelle.

3.2 DISCUSSION

3.2.1 ESPECES VEGETALES ASSOCIEES A LA CACAOCULTURE

De cette étude il ressort que les espèces arboricoles identifiées ne sont pas spécifiques à chaque agrosystème, bien qu'il y ait une différence de densité selon le type d'agrosystèmes. Ceci permet d'ailleurs de définir les différents types d'agrosystèmes dits simple avec 12,65 p.c. d'espèces associées, mixte avec 35,73 p.c. des espèces associées et complexe avec 51,61 p.c. d'espèces associées. La composition et/ou la densité des espèces floristiques associées à la cacaoculture est basée sur l'expérience du planteur en matière de pratique culturale, de la variété cultivée ou la valeur économique des espèces associées [21]. L'on note que dans les plantations, la préférence des planteurs est portée sur les espèces exotiques telles que *Persea americana* Mill. (Lauraceae), *Citrus spp* (Rutaceae). Généralement, les planteurs de kokumbo, possédant les parcelles vieilles de plus de quarante années, ont opté pour une densité des arbres associés élevée donc un système agroforestier complexe ou mixte parce que, les conditions climatiques sont jugées défavorables à la culture cacaoyère [22]. Cette pratique a été aussi observée dans les zones forestières de la Côte d'Ivoire [23] et du Cameroun [24] dont le but est de diversifier les revenus des producteurs. Par ailleurs, les pratiques culturales basées sur le système agroforestier simple seraient de réduire la compétition nutritionnelle avec les cacaoyers [25]. Par ailleurs, l'introduction et/ou le maintien des espèces locales appartenant aux familles des Sterculiaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Apocynaceae, Moraceae, Combretaceae, Lauraceae, Musaceae, Rutaceae, Caricaceae dans la conduite des plantations sont les observées. En effet, les planteurs considèrent ces arbres comme des espèces non seulement compatibles à la cacaoculture mais aussi des espèces qui ont pour rôle de combattre l'enherbement excessif et bien plus de servir à l'autoconsommation et à la diversification des revenus. En somme, la préférence des espèces résulte d'un compromis entre leurs utilisations domestiques et leur incidence sur la fertilité du sol sous cacaoyer [24]. A cela s'ajoute le fait que, le choix des espèces végétales locales par les planteurs est secondairement guidé par leur contribution au plan médical et ornemental [26].

3.2.2 FERTILITE CHIMIQUE DU SOL DES AGROSYSTEMES A BASE DE CACAORYERS

Cette étude a également montré que la fertilité globale des sols à Niamké-konankro dans le département de Toumodi est satisfaisante si l'on tient compte du résultat de l'analyse du sol sous les différents agrosystèmes considérés. Aussi, il a été constaté que les teneurs en éléments majeurs et oligo-éléments, ainsi que le complexe argilo-humique, qui caractérisent la fertilité minérale des sols sous cacaoyers et qui rendent possible la nutrition minérale de la plante ont été plus importantes dans les horizons superficiels à la profondeur 0-20 cm quel que soit le type d'agrosystème, mais beaucoup plus en agrosystème mixte et complexe. En fait, l'introduction et/ou le maintien des espèces locales dans les plantations à la densité souhaitée établit par effet d'ombrage et par évitement une éventuelle dégradation des sols, un enrichissement et un équilibre minéral entre les différents agrosystèmes. En effet la décomposition de la litière ou matière organique, par des processus de minéralisation et d'humification contribuent à enrichir le sol en éléments minéraux majeurs, en oligo-minéraux et humus limitant ainsi l'utilisation des fertilisants chimiques sur ces parcelles [27, 29]. C'est ce qui justifie la fertilité satisfaisante des sols des agrosystèmes à base cacaoyers [30]. Ces agrosystèmes agroforestiers à base cacaoyers dans lesquels les plantes associées sont choisis en fonction de leur capacité à établir un équilibre nutritionnel dans le sol pourraient être recommandés.

Au regard des résultats obtenus sur le plan nutritionnel, le système agroforestier mixte (SAGM) paraît plus intéressant dans l'amélioration de la structure du sol et de son enrichissement en éléments minéraux disponibles pour une bonne croissance et un développement du cacaoyer.

3.2.3 PRODUCTIVITE DES PLANTATIONS CACAORYERES DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS

Les sols sous cacaoyers en agrosystème simple (SAGS) ont été plus productifs, suivis de ceux en système agroforestier mixte (SAGM) et moins productifs en système agroforestier complexe (SAGC). La variabilité de la production des plantations cacaoyères sous les différents agrosystèmes pourrait s'expliquer sous plusieurs angles. D'abord, le faible rendement obtenu en SAGC et SAGM, serait dû à la triple action contraignante liée à la variété de cacao, à la densité arboricole associée aux cacaoyers et à l'âge des plantations. En effet, il convient de préciser que la majorité des variétés de cacao utilisées pendant la mise en place des parcelles ne sont pas des variétés améliorées et productifs mais trop souvent des variétés dites « tout-venant » et peu productifs. Sur le terrain, le constat est que l'agrosystème complexe (SAGC) sont majoritairement associés à la variété dite « Français » alors que l'agrosystème mixte (SAGM) est associé aux variétés « Français et Ghana » et l'agrosystème simple (SAGS) renferme les variétés « Français, Ghana et Mercedes » dans des proportions aléatoires [31]. A cela s'ajoute la densité relativement des plantes associées dans ces agrosystèmes qui pourrait fortement influencer la productivité des cacaoyers. En effet, les résultats ont montré que la densité des arbres associée à la cacaoculture est plus élevée en agrosystème complexe

(SAGC), en agrosystème mixte (SAGM) et en agrosystème simple (SAGS) par ordre décroissant. Cette densité des arbres pourrait créer des conditions environnementales (ombrage, humidité, cachettes des animaux rongeurs, maladie chryptogamique) peu propices pour l'épanouissement du cacaoyer. En fait, la trop grande densité des arbres associés crée un effet d'ombrage qui modifie la quantité de lumière, les températures et les mouvements d'air dans la cacaoyère et affecte directement l'activité photosynthétique d'où une réduction de la production des chérelles et des cabosses. Cela a été observé par [32, 34] qui ont signalé que, lorsque certains facteurs écologiques (air, humidité relative, température, ensoleillement) ne sont pas à leur optimum, la production du cacaoyer est affectée, ce qui expliquerait la différence de rendement telle qu'observée entre les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers simple (SAGS), mixte (SAGM) et complexe (SAGC) étudiés. [35] et [36] affirment en effet qu'un ombrage excessif crée un microclimat plus humide qui favorise la prolifération de maladies (la pourriture brune) et qui abrite les rongeurs dont les dommages réduisent la productivité des systèmes agroforestiers mixtes et complexes. Par ailleurs, l'une des raisons qui militent en faveur de l'ombrage est que la longévité des cacaoyers est moindre en agrosystème simple (SAGS) que sous ombrage mixte et complexe [37]. De toute évidence, la productivité du cacaoyer serait liée à son âge. Plus, les plantations cacaoyères sont âgées moins elles sont productives. Ce résultat est en accord avec les travaux de [38] qui a montré que le rendement des cacaoyers baisse au-delà de 30 ans du fait du déclin biologique.

4 CONCLUSION

Les résultats de l'étude montrent qu'il y a eu une variabilité d'espèces floristiques, appartenant à différentes familles se retrouvent dans les agrosystèmes à des densités variables selon que nous sommes en agrosystème simple (SAGS), mixte (SAGM) ou complexe (SAGC). Au niveau des potentialités, les agrosystèmes sont non seulement conservateurs d'un certain niveau de biodiversité mais aussi conservent et maintiennent les paramètres chimiques des sols sous cacaoyers susceptibles d'améliorer durablement la production du cacaoyer. Les sols sont peu acides, avec une texture limoneuse à limono-argileuse et surtout caractérisés par une disponibilité en éléments nutritifs très variable et plus riche en SAGM à la profondeur 0-20 cm. La productivité des cacaoyers s'est révélée plus importante en agrosystème simple (SAGS) qu'en agrosystème mixte (SAGM) et complexe (SAGC).

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Ce travail a été réalisé en collaboration entre tous les auteurs. Les auteurs KOUAME Amany Guillaume et N'GANZOUA Kouamé René ont conçu l'étude, rédigé le protocole expérimental. Le co-auteur SALLA Moreto a fait l'inventaire des espèces végétales et les co-auteurs KOUADIO Koffi Hypolith et BAKAYOKO Sidiky ont fait les traitements statistiques et interprété les résultats de l'étude. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final pour le soumettre à publication.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

- [1] WCF. Déclaration d'intention conjointe relative au développement durable du cacao en Côte d'Ivoire, Ministère de l'Agriculture, World COCOA Foundation, 5p, 2014.
- [2] Alverson W. S., Whitlock B.A., Nyffeler R., Bayer C., Baum D. A. Phylogeny the core Malvales: Evidence from NDHF sequence data. *Am. J. Bot.*, 86 (10): 1474 – 1486, 1999.
- [3] ICCO, (2016). Bulletin of Cocoa Statistics, [Cocoamap.www.icco.org/statistics/otherstatistical-data.html](http://www.icco.org/statistics/otherstatistical-data.html), consulté le 08/08/2023.
- [4] Altieri M., Pengue W. GM. Soybean: Latin America's new coloniser. *Seedling (Jan.)*: 13-17, 2006.
- [5] FAO. Sécurité alimentaire, Note d'information n° 2, juin, publié par la Division de l'économie agricole et du développement (ESA) de la FAO, avec le concours du programme de partenariat FAO-Pays-Bas et du Programme de sécurité alimentaire CE-FAO, 2006.
- [6] Rice R.A., et Greenberg R. Cocoa Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29: 167-173, 2000.
- [7] Sonwa D.J., Bernard A., Nkongmeneck A., Weise F., Tchatat M., Akin A.A., Janssens M.J.J. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodivers. Conserv.*, 16: 2385-2400, 2007.

- [8] Adou Y.Y.C., Kpangui K., Vroh B.T.A. & Djakaridja O. Pratiques culturelles, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacaoyer dans des agrosystèmes traditionnelles au centre de la Côte d'Ivoire, *Revue d'ethnoécologie*, 9: 20p, 2016.
- [9] Agroforestry Systems. Editorial-What is Agroforestry? *Agrof. Syst.*, 1: 7-12, 1982.
- [10] Vroh B.T.A., N'Guessan K.E., Adou Yao C.Y. Trees species diversity in perennial crops around Yapo protected forest, Côte d'Ivoire. *Journal of Horticulture and Forestry*, 9: 98-108, 2017.
- [11] Dalliere C., et Dounias E. Agroforêts caféières et cacaoyères des Tikar (Cameroun central) structures, dynamiques et alternatives de développement. Séminaire FORAFRI Session 3, Produits de la forêt. Libreville. 26p, 1998.
- [12] Ruf F. The myth of complex cocoa agroforests: the case of Ghana. *Hum. Ecol.*, 39: 373-388, 2011.
- [13] Yao-Kouamé A. Caractéristiques physiques des sols brunifiés dérivés des formations du complexe volcano-sédimentaire de Kanhankro (Toumodi) en moyenne Côte d'Ivoire. *Rev. CAMES- Série A*, Vol. 05: 39-52, 2007.
- [14] CEAEQ. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. Détermination de la granulométrie, MA. 100 – Gran. 2.0, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 11 p, 2015.
- [15] Lebrun J.P et Stork Adélaïde L. Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. 4 Gamopétales: Ericaceae à Lamiaceae. Genève: Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, 714 p, 1997.
- [16] Diack, M. & Loum, M. Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint Louis. Dans le bas delta du fleuve Sénégal». *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*. N°12. 15 p, 2014.
- [17] Nelson, D.W. & Sommers, L.E. *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. In Sparks, D.L., et al., Eds., *Methods of Soil Analysis*. Part 3, SSSA Book Series, Madison, 961-1010, 1996.
- [18] Bemmelen, V.J.M. Ueber die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u.s.w. im Ackerboden. *Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen*, 37: 279-290, 1890.
- [19] Gianello C. et Bremner J.M. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in soil sciences and plants analysis*, vol 17, issue 2: 195-214, 1986.
- [20] Olsen, S.R. et Sommers, L.E. *Phosphorus*. In *Methods of soil analysis*. Ed Page et al. Madison. Wisc.: ASA and SSSA: 403-430, 1982.
- [21] Adou Yao C.Y. & N'Guessan E.K. Diversité floristique spontanée des plantations de café et de cacao dans la forêt classée de Monogaga, Côte d'Ivoire. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 157 (2): 31-36, 2006.
- [22] Herzog F. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry systems*, 27: 259–267, 1994.
- [23] Konan D. Évaluation de l'impact de la cacaoculture sur la flore et la végétation en zone de forêt dense humide semi-décidue: cas du département d'Oumé. Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies de Botanique, UFR Biosciences, Laboratoire de Botanique, Abidjan, Côte d'Ivoire, 45 p, 2009.
- [24] Sonwa D. J., Weise S. F., & Janssens M. J. J. Conservation et gestion durable des écosystèmes des forêts tropicales humides de l'Afrique centrale, étude de cas d'aménagement forestier exemplaire en Afrique centrale: Les systèmes agroforestiers cacaoyers Cameroun.; 49 p, 2002.
- [25] Cissé A. Caractérisation phytoécologique et estimation de la biomasse des espèces arborescentes des agrosystèmes à base de cacao du département de Lakota (Centre- Ouest, Côte d'Ivoire). Mémoire de Diplôme d'études approfondies de botanique. Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 64 p, 2013.
- [26] Vroh B.T.A.; Ouattara D. & Kpangui K.B. Disponibilité des espèces végétales spontanées à usage traditionnel dans la localité d'Agbaou, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 76: 6386-6396, 2014.
- [27] Howeler R.H. Nutrient Inputs and Losses in Cassava-based Cropping Systems. Examples from Vietnam and Thailand. *Southeast Asia*; 20-22, 2001.
- [28] Doucet R. Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec; xv, 443 p, 2006.
- [29] Giroux M. & Audesse P. Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. *Agrosol*.; 15: 107-110, 2004.
- [30] Koko L.K. Influence des caractères morpho-pédologiques et chimiques des sols sur la dégradation précoce des cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Cocody- Abidjan, Côte d'Ivoire, 148 p, 2008.
- [31] Kpangui K.B., Kouamé D., Gone B.Z.B., Vroh B.T.A., Koffi B.J.C. & Adou Yao C.Y. Typology of cocoa-based agroforestry systems in a forest-savannah transition zone: case study of Kokoumbo (Centre, Côte d'Ivoire). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*; 6 (3): 36-47, 2015.
- [32] Deheuvels O., Avelino J., Somarriba E., Malezieux E. Vegetation structure and productivity in cocoabased agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149: 181-188, 2012.

- [33] Zuidema P.A, Leffelaar P.A, Gerritsma W, Mommer L, Niels P.R. Anten N.P.R. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application Elsevier. *Agricultural Systems* 84 (2005) 195-225, 2005.
- [34] Almeida D.A.A.F et Valle R.R. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19 (4): 425-448, 2007.
- [35] Boulay M. Étude de la phénologie de différents hybrides de cacaoyer associés à six espèces d'arbres d'ombrage, Mémoire de maître ès sciences. Université Laval, Canada, 74 p, 1998.
- [36] Mossu, G. (1990). Le cacaoyer. Paris, Maisonneuve et Larose, Coll. Le Technicien de l'agriculture tropicale. 159 p.
- [37] Ahenkorah Y, Akrofi GS, Adri AK. (1974). The end of the first cacao shade and manurial experiment at the Cacao Research Institute of Ghana. *J Hort Sci* 49: 43–51.
- [38] Koko L. (2014). Teractiv Cacao as a New Fertilizer based Reactive Phosphate Rock for Cocoa Productivity in Côte d'Ivoire: A Participatory Approach to Update Fertilization. Elsevier, *Procedia Engineering* 83 (2014) 348 – 353.

Optimisation de la numérisation dans la gestion du spectre de fréquences radioélectriques dans la Ville Province de Kinshasa

[Optimization of digitalization in the management of the radio frequency spectrum in the City Province of Kinshasa]

Kisoki Mbunga Henri

Professeur Associé, Département de Physique et des Sciences Appliquées, Faculté des Sciences, Université Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa-Ngaliema, RD Congo

Copyright © 2024 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: Today, users of radio frequencies face a double challenge, namely:

- Respond to a growing need for communication channels (frequencies);
- Maintain good quality of service (Qos).

The difficulty results from the fact that the number of frequency (channels) available for radio electricity spectrum allocation is a very limited resource.

This constraint imposes optimal and efficient use of frequencies, taking into account all the necessary parameters so as not to increase the probability of interference and also to avoid the malfunction of neighboring stations.

In the Democratic Republic of Congo in general and more particularly the city Province of Kinshasa, the Post and Telecommunications Regulatory Authority of Congo (ARTPC) has a limited number of usable frequencies in order to cover the needs of potential users.

KEYWORDS: Constraint, Digitization, Frequency, Interference Optimization, Spectrum.

RESUME: Aujourd'hui, les utilisateurs des fréquences radioélectriques font face à un double défi, à savoir:

- Répondre à une augmentation croissante de réseaux ou canaux (fréquence) de communication;
- Maintenir une bonne qualité de service (QoS).

La difficulté résulte du fait que le nombre des fréquences (canaux) disponibles pour l'allocation du spectre radio est une ressource très limitée.

Cette contrainte impose une utilisation optimale et efficiente des fréquences, en tenant compte de tous les paramètres nécessaires pour ne pas augmenter la probabilité d'interférences et aussi d'éviter le dysfonctionnement des stations voisines.

EN RD Congo, en général et plus particulièrement la Ville Province de Kinshasa, l'Autorité de Régulation de Poste et de Télécommunication du Congo (ARPTC) dispose d'un nombre limité des fréquences utilisables afin de couvrir les besoins des utilisateurs potentiels.

MOTS-CLEFS: Contrainte, Fréquence, Interférences, Numérisation, Optimisation, Spectre.

1 INTRODUCTION

Le spectre fréquentiel radioélectrique est limité certes, mais pour faire face à ce défi, il y a besoin de la réinitialisation efficace des fréquences qui peut se faire par une distribution optimale du spectre fréquentiel disponible dans une zone qui garantit un écoulement maximal du trafic tant en minimisant les interférences [1].

En d'autres termes, une seule fréquence pourrait être utilisée plusieurs fois si les rayons de couverture des antennes ne se chevauchent pas.

L'écoulement de trafic porté par ces zones serait alors conditionné par la qualité de l'affectation des fréquences [2].

Pour ce faire, plusieurs signaux utiles peuvent être transmis sur un seul canal à l'aide des techniques de la numérisation et du multiplexage.

2 METHODES ET MATERIELS UTILISEES

Pour arriver à rédiger cet article, nous avons fait usage des méthodes et techniques suivantes:

- Méthode analytique: cette méthode nous a servis à analyser le prototype du schéma d'acquisition et d'utilisation des fréquences;
- Méthode descriptive: celle-ci, nous a permis à décrire la procédure à suivre dans le fonctionnement du spectre fréquentiel dans le Ville Province de Kinshasa afin de dégager les éléments importants pour notre recherche;
- Techniques d'enquête et d'interview: elles nous ont donné l'occasion à avoir les informations utiles sur la gestion des fréquences de la VPK après descente sur terrains et jeux des questions-réponses auprès de certains opérateurs de télécommunication.

Pour notre recherche, nous avons utilisé comme matériel le logiciel Matlab reconnu très puissant dans l'ingénierie [3].

Ce matériel nous a permis à faire des simulations pour arriver à dégager les résultats attendus.

3 SPECTRE DE LA RADIODIFFUSION SONORE NUMERIQUE

3.1 NORMES [4]

La radiodiffusion sonore numérique en Anglais Digital Audio Broad casting (DAB) est un système standardisé par Union Intenance of Telecom (UIT) ou encore par European Telecommunications standards Institute (ETSI).

D'autres standards sont développés par des entreprises à savoir:

- Standards ouverts:
 - DAB (Digital Audio Broad casting). Standard Européen pour la radiodiffusion numérique dans les ondes ultra-courts (VAF, UHF) et micro-ondes (SHF),
 - DRM (Digital Radio Mondiale). Standard Mondial pour la Diffusion Numérique dans les ondes courts, moyennes et longues (<30 Mhz);
 - SDR (Satellite Digital Radio). Standard pour la Radiodiffusion par Satellite.
- Standards propriétaires ou partiellement ouverts:
 - IBOC (In-band on-Channel)
 - HD Radio

3.2 SYSTEME DE RADIO NUMERIQUE

Le système de radio numérique que nous allons optimiser par le VPK publié dans cet article va de la production au studio numérique en passant par un traitement des signaux avant d'attaquer l'émetteur radioélectrique de diffusion sonore numérique.

Le système choisi, c'est le système numérique de la technologie IBOC compte tenu de sa performance pour des récepteurs fixes, portatifs et mobiles à bord de véhicules recevant des signaux provenant d'émetteurs terrestre (figure 1).

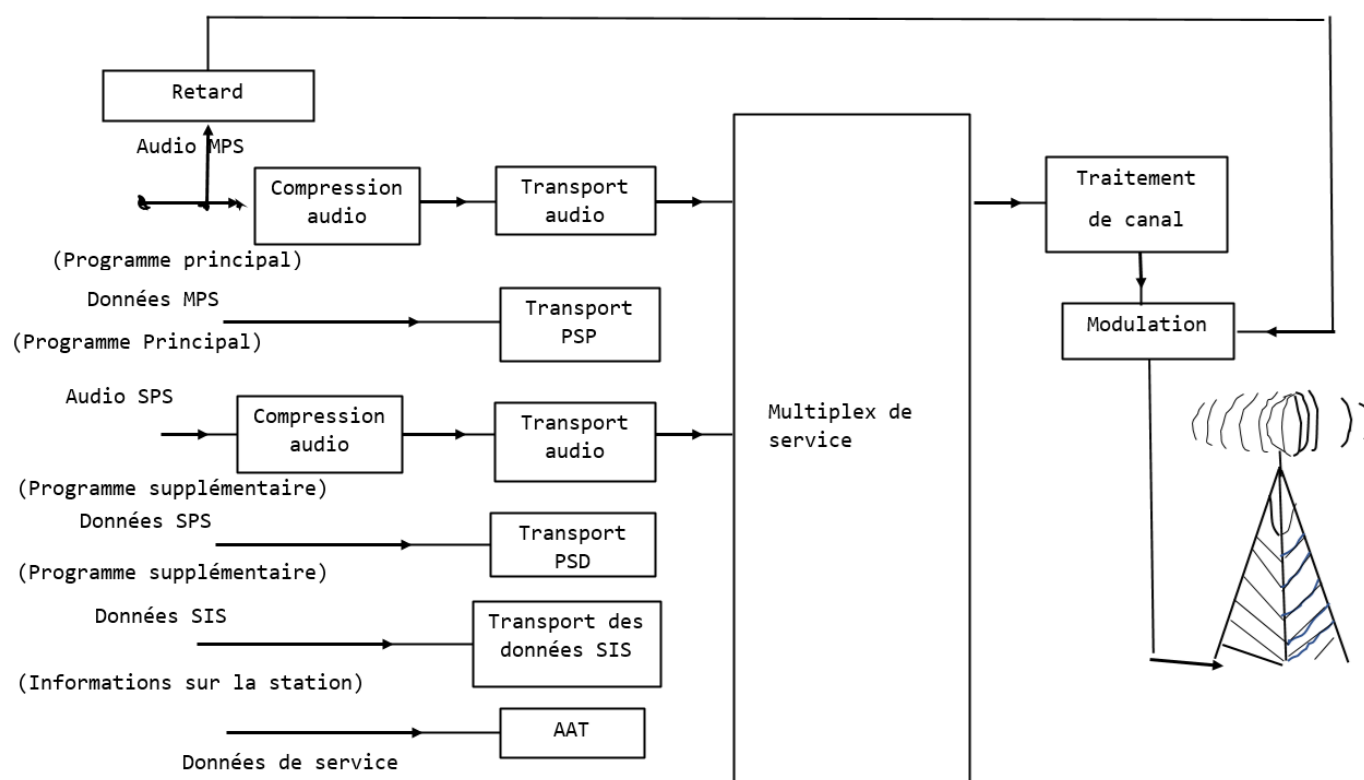


Fig. 1. Système de radiodiffusion IBOC

3.3 PLANIFICATION DES FREQUENCES [5]

Pour bien mener notre étude sur l'optimisation de la numérisation dans la gestion du spectre de fréquences radioélectriques dans la Ville Province de Kinshasa, soulignons que le spectre radioélectrique est une ressource naturelle inépuisable mais limitée et qui est disponible dans la totalité des pays ainsi que dans l'espace extra-atmosphérique. La recommandation n° UIT-R BS.774 montre la correspondance possible entre les normes et les bandes de fréquences utilisées (tableau 1)

Tableau 1. Normes et Bandes de fréquences utilisées

Bandes	Fréquences	DRM	DAB	IBOC	DVB-T	DVB-H	DMB
Ondes longues	148,5-283,5 KHz						
Ondes moyennes	526.5-1605.5 KHz						
Ondes courtes	2.3-26.1 MHz						
Bande II	87.5-108 MHz						
Bande III	174-230 MHz						
Bandes IV et V	470-830 MHz						
Bande L	1452-1492 MHz						
Bande S	2520-2670 MHz						

4 OPTIMISATION DE LA NUMERISATION DU SPECTRE RADIOELECTRIQUE DANS LE VILLE PROVINCE DE KINSHASA

4.1 ASPECT GENERAL

La numérisation du spectre radioélectrique dans la VPK dans sa gamme réservée à la radiodiffusion sonore doit répondre aux normes techniques et exigences des télécommunications en général et de radiocommunication ou diffusion numérique (DAB).

Pour y arriver, nous avons besoin d'acheter de nouveaux équipements à ajouter au système existant (tableau 2) afin de parvenir à un système purement numérique

Tableau 2. Nouveaux équipements à ajouter au système analogique existant

N°	Désignation	Quantité	Caractéristiques
1	Emetteur-numérique	1	2kw, 87.5-108 MHz (FM) Select 220 V
2	Système d'antennes	1	4 antennes dipôles, distributeurs et bretelles
3	Multiplexeur concentrateur	1	12 In put SPDIF, Mpx out SPDIF
4	PC de gestion	1	1T, 3GH, 8 Giga de RAM
5	Processeur audio NV	1	Bw Broadcast Mini Encore Mpx et XLR OutPut, XLR input
6	Kit Studio numérique Basic	1	4 Guest, ON air
7	Kit Codec audio	10	Encodeur DAB + SPDIF
8	Serveur de sauvegarde production	1	10T, 16 Giga de RAM, min 4 GHz
9	Logiciel de diffusion	1	Simiam ou Dallet

4.2 ANTENNES ET LA PUISSANCE RAYONNEE

4.2.1 ANTENNE

Pour notre étude, publiée dans cet article le modèle d'antennes choisi a répondu aux principaux paramètres suivants:

- Fréquences de travail:
- Directivité: omnidirectionnelle;
- Gain: plus de 50 dB;
- Impédance: adaptée à celle du câble coaxial (feeder) 50;

La formule suivante a été utilisée pour tailler notre antenne:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

La relation (1) montre que pour la fréquence de 87.5 MHz, la longueur physique de notre antenne est à peu près égale à 342 cm. Elle est de 277 cm pour la fréquence de travail de 108 MHz.

4.2.2 PUISSANCE RAYONNÉE PAR L'ANTENNE

La puissance rayonnée par l'antenne est une mesure théorique standardisée de l'énergie des ondes radioélectriques émises par une antenne exprimée en Watt ou en dBm

La relation (2) permet à calculer la PRA de la manière suivante:

$$PRA = P_e - \text{pertes} \quad (2)$$

Avec :

P_e = puissance d'émission (w);

Pertes sont déterminées par le type de câble utilisé dépendant de chaque fabricant.

Pour notre cas, la PRA est donnée dans le tableau 2 (cfr. 4.1)

4.2.3 EFFICACITÉ DE L'UTILISATION DE SPECTRE RADIODIFFUSION NUMÉRIQUE

Le signal numérique a été modulé par la technique de multiplexage par répartition orthogonale des fréquences (MRFQ). Elle nous a permis à faire une correspondance directe des canaux logiques avec différents groupes des sous-porteuses afin d'obtenir un signal composite avec plusieurs autres composantes.

Comme nous parlons de la transmission numérique dans cet article, nous avons utilisé la relation (3) pour déterminer l'efficacité spectrale ζ Dans le but d'optimiser la gestion du spectre fréquentiel radioélectrique de la Ville Province de Kinshasa.

$$\zeta = \frac{D}{B} \quad (3)$$

Avec :

ζ : efficacité spectrale

D: Débit binaire

B: Largeur de la bande occupée par le signal modulé

5 DISCUSSION ET SOLUTION PROPOSÉE

Dans la Ville Province de Kinshasa, beaucoup d'émetteurs de radiodiffusion sont analogique.

Cela, rendant le spectre fréquentiel saturé avec possibilité d'intégrer un nouveau flux de données y compris inaccessibilité aux émissions par des auditeurs se trouvant dans certaines zones de la capitale non couvertes par les antennes.

La solution proposée dans cet article tient compte des normes et recommandations de l'UIT concernant la radiodiffusion numérique terrestre pour l'optimisation du spectre des fréquences radioélectriques dans la Ville Province de Kinshasa pour une bonne gestion de spectre et aussi desservir des auditeurs en temps réel même pendant une éventuelle perturbation.

Les différentes caractéristiques retenues dans notre solution sont reprises dans le tableau 3.

Tableau 3. *Caractéristiques retenues pour notre solution selon UIT*

N°	Paramètres	Commentaires	Observations
1	Normes utilisées	IBOC In-Broad On-Channel	Adapter à la transmission analogique et numérique
2	Bande de fréquences	87.5-108 MHz	Gamme de la FM
3	Type de modulation	Numérique	Mixte en quadrature
4	Suppression d'harmoniques	-58 dB	Bruit sur la modulation
5	Puissance rayonnée par l'émetteur	1 kw	Puissance à la sortie d'antennes
6	Sensibilité de la Puissance	>2%	Pour une meilleure réception
7	VSWR	Protection pour réfléchi	A ne pas dépasser 5% de P_s
8	Température de fonctionnement	Rage -5°-45°	Meilleur fonctionnement de l'émetteur
9	Longueur de pylône supportant les antennes	Au-dessus de la terre à 50 m	Par rapport au relief et à la rondité de la terre
10	Systèmes d'antennes	Type dipôle verticale	Omnidirectionnelle
11	Altitude max	2 km	Hauteur Max de fonctionnement
12	Tension électrique de fonctionnement	220 VAC +/- 10 %	Monophasé 50/60 Hz

Après avoir présenté le fonctionnement d'un émetteur numérique (cfr 3.2), la simulation est faite par la figure 2 suivante en utilisant le logiciel Matlab.

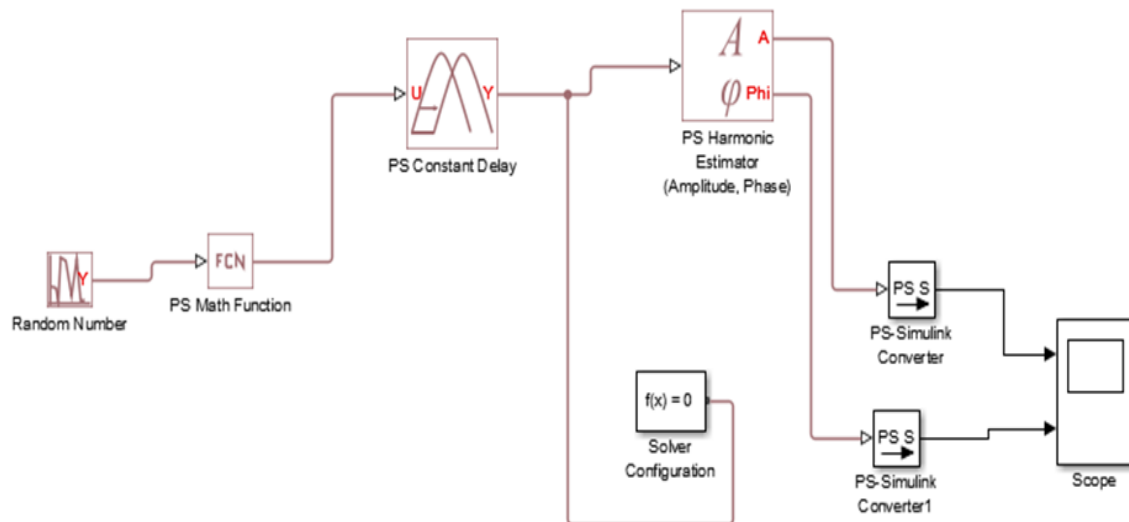


Fig. 2. Schématisation de la simulation de notre émetteur numérique proposé

La forme du signal à rayonner par l'antenne d'émission est illustrée par la figure 3.

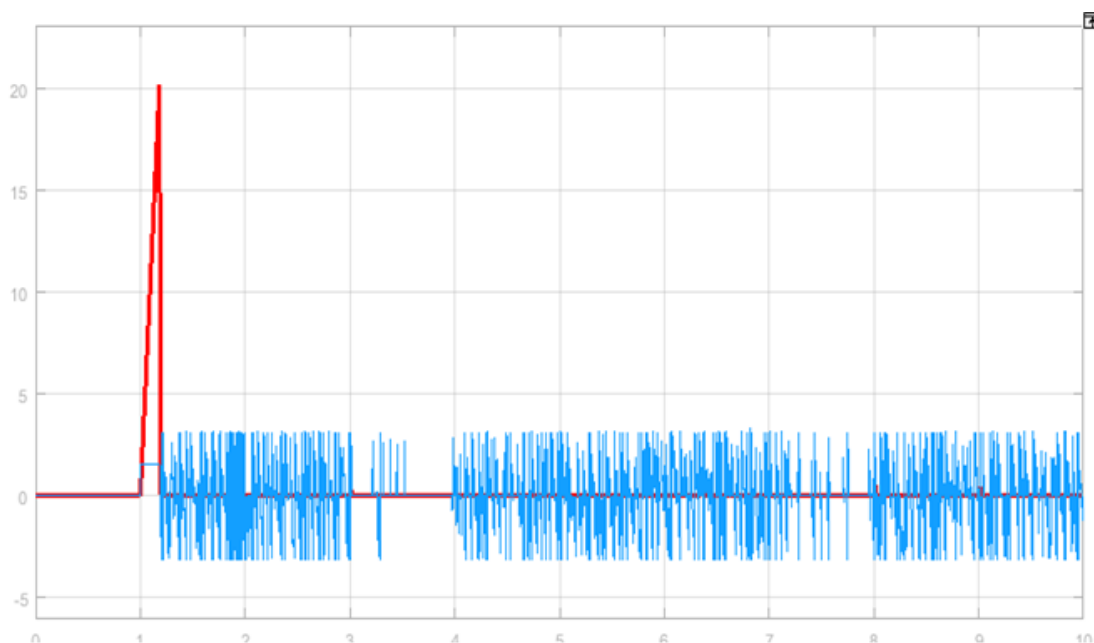


Fig. 3. Forme du signal rayonné par l'antenne d'émission

6 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

La figure 3 montre qu'avec un signal perturbé lors de la transmission, quels que soient sa durée et sa valeur, après une seconde la perturbation disparaît (voir le peak) et son amplitude devient nulle. Cela a comme conséquence, le signal modulé rayonné par l'antenne garde son amplitude constante avec une variation de la porteuse en respectant la gamme des fréquences réservée à la FM.

7 CONCLUSION

Dans cet article, sur l'optimisation de la numérisation dans la gestion du spectre des fréquences radioélectrique dans la Ville Province de Kinshasa, nous venons de voir comment concevoir un système de radiodiffusion numérique terrestre dans la gamme FM suivant les recommandations et les normes de l'UIT.

En tenant compte de la solution proposée et de la simulation, les résultats montrent que la radio numérique mise en place va améliorer la qualité de service (QoS) par une augmentation de nombre de radio mise à la disposition du public assurant aussi la mutation de la transmission analogique vers la numérique.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont au chef du département de physique et des sciences appliquées, le Professeur ONEMA LAMA de l'Université Pédagogique Nationale (U.P.N) pour avoir mis à ma disposition le laboratoire pour mes recherches.

Que les CT MUAMBA Christophe, MAFUTA MELE et l'Assistant MULUMBA trouvent dans cette publication les sentiments de ma reconnaissance.

REFERENCES

- [1] Redoutey, J., Radio communications, Saint Etienne, Edition ISMIN, 2009.
- [2] Grenier, D., *Antennes et prorogations radio*, Québec, Edition Hivax, 2015.
- [3] Kisoki, H., *Modélisation et simulation d'un réseau entropique d'interconnexion par fibres optiques et leurs applications*, thèse de doctorat, Université Pédagogique Nationale (U.P.N), RD Congo/Kinshasa-Ngaliema, février 2020.
- [4] Baudoin, G, *Radio communications numériques 1*, Paris, Edition Dunod, 2002.
- [5] Archives UIT-recommandation UIT-R BS.774.
- [6] Mallard, R., *construisez votre émetteur FM Conception et réalisation*, Paris, Edition Dunod, 2008.

Etude phylogénétique des populations de *Chrysichthys Nigrodigitatus* de trois bassins aquatiques de Côte d'Ivoire

[Phylogenetic study of *Chrysichthys Nigrodigitatus* populations in three aquatic basins in Côte d'Ivoire]

Coulibaly Tionrotia Alice Sita Ouattara¹, Yebe Zohoré Pascal Ougah², and Adepo-Gourene Beatrice Abouo²

¹Centre de Recherche Océanologique, Département Aquaculture, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Pôle Pêche et Aquaculture, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study was to define the molecular variability of three populations of the species *Chrysichthys nigrodigitatus*. The mitochondrial D-loop gene from 27 specimens was sequenced. Geneious software was then used to analyse and compare the nucleotide sequences obtained. The results showed that there was no difference between the nucleotide sequences of fish from the Bia river and the Aby lagoon. These two populations are therefore similar for the gene examined. However, the nucleic acid molecule of the Ebrié lagoon population differs from that of the other two populations by at least three mutations. On the phenogram, two genetically different sets were identified: specimens from the Bia river and Aby lagoon on the one hand, and individuals from the Ebrié lagoon on the other. The three populations of the *Chrysichthys nigrodigitatus* species are therefore divided into two ecological siblings depending on the environment in which they live.

KEYWORDS: mâchoiron, polymorphism, nucleotide, mitochondrial, ivorians.

RESUME: L'objet de cette étude était de définir la variabilité moléculaire de trois populations de l'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus*. Le gène mitochondrial D-loop, de 27 spécimens, a été soumis à un séquençage. Par la suite, le logiciel Geneious a été utilisé pour l'analyse et la comparaison des séquences nucléotidiques obtenues. Les résultats ont montré qu'il n'existait aucune différence entre les suites de nucléotides des poissons en provenance de la rivière Bia et de la lagune Aby. Ces deux populations sont donc similaires pour le gène examiné. Par contre, la molécule d'acide nucléique de la population de la lagune Ebrié se distingue de celle des deux autres populations par au moins trois mutations. Sur le phénogramme, deux ensembles génétiquement différents ont été identifiés: d'une part, les spécimens de la rivière Bia et de la lagune Aby et d'autre part, les individus de la lagune Ebrié. Les trois populations de l'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus* sont donc divisées en deux fratries écologiques selon le milieu de vie.

MOTS-CLEFS: mâchoiron, polymorphisme, nucléotide, mitochondrial, ivoiriens.

1 INTRODUCTION

Le poisson *Chrysichthys nigrodigitatus* subit une intense pression de la pêche parce que sa chair est fortement appréciée par les populations locales [1]. Pour répondre à la forte demande, l'élevage de ce mâchoiron est largement pratiqué dans de nombreuses régions de la Côte d'Ivoire. Bien que sa production piscicole demeure encore faible, cette espèce occupe la troisième position après le tilapia et l'hétérotis [2]. Du fait de son importance économique, cette espèce fait l'objet de nombreux travaux

de recherche. Appartenant aux poissons à systématique difficile et confuse [3], l'étude de la biologie des populations utilise conjointement des approches biométriques et génétiques afin d'évaluer la biodiversité des stocks disponibles. Lors de travaux préliminaire de recherche sur *Chrysichthys nigrodigitatus*, Ouattara [4] a montré que la population de la lagune Ebrié était morphologiquement distincte de celles issues de la lagune Aby et de la rivière Bia qui présentaient une forte similarité morphologique. La présente étude a pour objectif de ressortir le degré de différenciation génétique entre les populations de ces trois cours d'eau ivoiriens. En effet, les techniques de biologie moléculaire aident à une analyse plus fine des différences entre individus. Les données relatives à la caractérisation génétique ont des applications variées dans la recherche sur l'évolution, la conservation et la gestion des ressources naturelles, les programmes d'amélioration génétique, etc [5].

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le genre *Chrysichthys* qui appartient à la famille des *Claroteidae* compte 32 espèces dont cinq (5) sont connues des cours d'eau de la Côte d'Ivoire. Ce sont: *C. nigrodigitatus*, *C. maurus*, *C. auratus*, *C. johnelsi* et *C. teugelsi*. L'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus* est caractérisée par un museau pointu, une bouche assez petite. Les barbillons mandibulaires fins ont les points d'insertion bien séparés [6]. Le présent travail a porté sur 27 spécimens de cette espèce. La photo 1 présente un spécimen de *Chrysichthys nigrodigitatus* et le tableau 1, la répartition des poissons par hydrosystème.



Photo 1: Un spécimen de l'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus*

Tableau 1. Répartition des échantillons par hydrosystème.

Hydrosystèmes	Echantillons
Rivière Bia	Ay24; Ay19; Ay2
Lagune Aby	As7; As32; As14; As1; As4; As13; As34; As6; As15
Lagune Ebrié	A28; J4; N5; N14; J2; L1; J8; J7; J1; N27; J10; J3; L2; M37; N38

2.2 MILIEU D'ÉTUDE

En Côte d'Ivoire, le complexe lagunaire essentiellement rassemblé le long de la moitié orientale de la façade littorale, est constitué des systèmes lagunaires qui sont reliés entre eux par des canaux artificiels. Les spécimens de l'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus* ont été échantillonnés dans les trois cours d'eau suivants: la rivière Bia, la lagune d'Aby et la lagune Ebrié (Figure 1).

2.2.1 LA RIVIÈRE BIA

La rivière Bia est située entre 5° et 7° 5' de latitude Nord et 2° 6' et 3° 3' de longitude Ouest. Elle prend sa source au Ghana [7]. Ce cours d'eau qui se jette dans la lagune Aby dans le Sud-est de la Côte d'Ivoire, couvre un bassin de 9650 km² [8] (VandenBossche

et Bernacsek, 1990). Il est long de 290 km dont 120 km en Côte d'Ivoire. Les barrages d'Ayamé 1 et d'Ayamé 2 sont construits sur son cours principal.

2.2.2 LA LAGUNE ABY

Située à l'extrême Sud-est de la Côte d'Ivoire, entre 5°05' et 5°22' de latitude Nord et 2°51' et 3°21' de longitude Ouest, le système lagunaire Aby constitue une frontière naturelle entre la Côte d'Ivoire et le Ghana. Ce complexe, d'une superficie de 424 km² rassemble les lagunes Aby, Tendo et Ehy. La lagune Aby est alimentée en eau douce par la Bia au Nord-Ouest et la Tanoé à l'Est. Elle reçoit au Sud du secteur Aby des eaux marines par la passe d'Assinie [9] (N'Goran, 1995).

2.2.3 LA LAGUNE EBRIÉ

La lagune Ebrié est située dans le Sud de la Côte d'Ivoire. C'est un système lagunaire côtier ouvert, complexe et de forme allongée situé entre 5°02' et 5°42' de latitude Nord et 3°47' et 5°29' de longitude Ouest. D'une superficie totale de 566 km² la lagune Ebrié a environ 130 kilomètres de longueur et une largeur maximum de 7 kilomètres [10] (Albaret, 1994). La lagune est reliée artificiellement à l'Ouest à la lagune de Grand-Lahou par le canal d'Assagny, à l'Est à la lagune Aby par le canal d'Assinie et au Centre-Est à l'océan atlantique par le canal de Vridi.

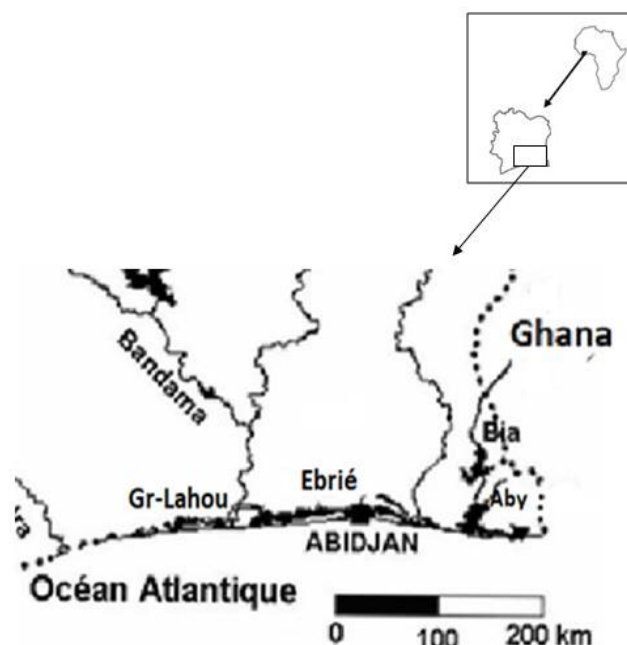


Fig. 1. Situation géographique des sites d'échantillonnage des poissons.

2.3 ANALYSE GÉNÉTIQUE

Cette analyse a porté sur la molécule d'ADN mitochondrial (ADNmt) D-loop «Displacement-Loop». Ce gène appartient à la région de contrôle de l'ADNmt qui est une séquence non codante à l'origine de la réplication du génome mitochondrial. C'est la région la plus appropriée pour mettre en évidence les différences de séquences nucléotidiques au sein d'une même espèce parce qu'elle constitue la portion la plus variable de l'ADNmt. Elle présente un taux de mutation cinq fois supérieur au reste du génome mitochondrial. Du fait de son hyper variabilité, cette particule représente un des marqueurs de choix parmi les plus utilisés dans la génétique des populations [11] (Caraguel, 2003). Pour cette étude, la variabilité génétique de la séquence D-Loop des spécimens a été analysée à partir du séquençage des produits de la réaction de polymérisation en chaîne (Polymerase Chain Reaction ou PCR).

Les séquences nucléotidiques obtenues ont été alignées et comparées entre elles grâce au programme Clustal X, intégré dans le logiciel Geneious [12] (Drummond *et al.*, 2009). La matrice des distances par paire a été ensuite utilisée pour la construction d'un arbre phylogénétique selon l'algorithme de *Neighbor-Joining* [13] (Saitou et Nei, 1987), à l'aide du logiciel Geneious. Le

spécimen *Chrysichthys sp* de numéro d'accension APO12009.1 de Genbanck a été utilisé comme out-group pour enraciner l'arbre phénétique.

3 RÉSULTATS

Le séquençage du locus de la D-Loop des 27 spécimens a révélé quatre séquences différentes. La séquence H1 est présente chez quatorze individus de la lagune Ebrié: J2, J4, J7, N27, J10, N38, N5, J3, J1, L1, J8, L2, N14, A28. Les séquences H2 et H3 se manifestent respectivement chez un spécimen de la lagune Ebrié (M37) et un spécimen de la lagune Aby (As 14). La séquence H4 est porté par la majorité des spécimens de la rivière Bia et de lagune Aby: Ay24, As1, As15, As6, Ay2, Ay19, As7, As4, As32, As13' et As34. Les séquences H1 diffère d'un nucléotide de H2 tout comme H3 et H4. Par contre, les deux premiers locus se distinguent par 3 à 4 nucléotides des seconds (Tableau 2).

Tableau 2. Position variable des nuclétides de la région de l'ADN mitochondrial définie dans la population de *Chrysichthys nigrodigitatus*

	Haplo types	P 177	P 179	P 202	P 228	P 229	P 39	P 262	P 264	P 276	P 277	P 278	P 279	P 280	P 283	P 286	P 288	N
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	H1	G	A	A	G	C	A	C	C	T	A	C	A	C	A	T	C	14
	H2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	G	-	-	-	-	1
	H3	-	G	-	-	-	-	T	T	-	-	T	-	-	-	-	-	1
	H4	-	-	-	-	-	-	T	T	-	-	T	-	-	-	-	-	11

L'arbre phylogénétique illustrant les relations entre les spécimens est présenté à la figure 2. Ce réseau construit à partir des distances génétiques selon la méthode de « Neighbors Joinning », a fait apparaître deux grands groupes. D'un côté, les spécimens de la lagune Aby et de la rivière Bia qui ségrégent ensemble (groupe I) et de l'autre côté, les individus de la lagune Ebrié (groupe II).

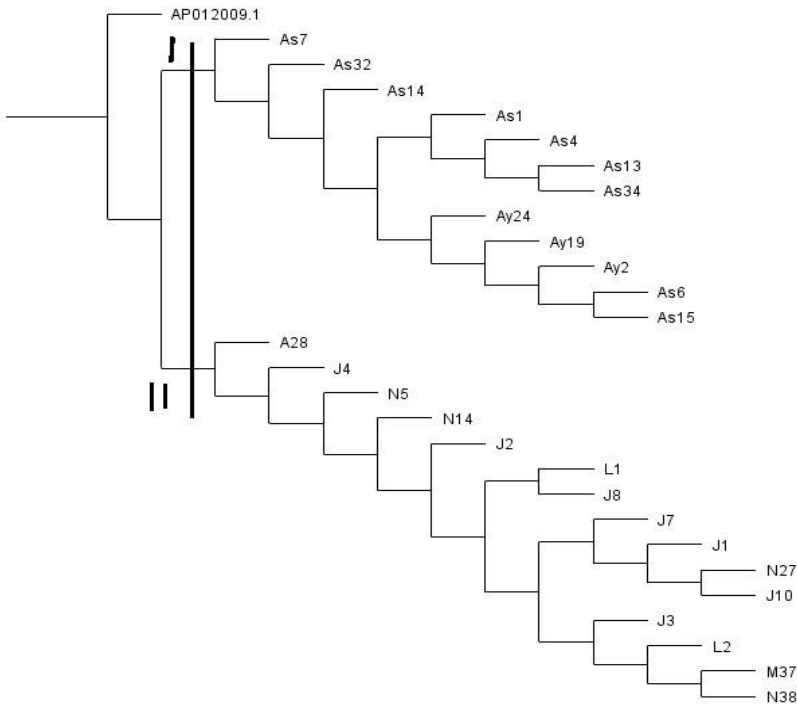


Fig. 2. Phénogramme Neighbors-Joinning raciné illustrant les relations entre les spécimens de *Chrysichthys nigrodigitatus*

4 DISCUSSION

Dans une étude préliminaire, l'analyse des paramètres métriques avait révélé une divergence morphologique entre les individus de la lagune Ebrié d'une part et ceux de la rivière Bia et de la lagune Aby d'autre part [4] (Ouattara, 2019). Bien que les

travaux de génétique aient porté sur un seul gène, les résultats obtenus viennent soutenir les données fournies par l'analyse des descripteurs métriques. L'association de ces deux approches méthodologiques a été largement utilisée dans des études de caractérisation d'espèces [14], [15] (Adépo-Gourène, 2008; Ouattara *et al.*, 2018)

L'analyse du polymorphisme de la D-loop n'a relevé aucune différence entre les séquences des spécimens de la rivière Bia et ceux de la lagune Aby. Ces deux populations sont donc génétiquement similaires. Cette observation laisse suggérer un grand flux génétique entre les individus. Cet échange génétique est probablement favorisé par la proximité et l'absence de barrière géographique entre les deux bassins puisque la lagune Aby est alimentée directement en eau douce par la rivière Bia. Lors de ses travaux sur la daurade, [16] Chaoui *et al.* (2009) a remarqué l'absence de divergence génétique entre les populations de la lagune de Thau et celle de la pleine mer au large de Sète. Une proximité génétique a aussi été relevée entre les populations d'*Heterobranchus longifilis* de l'Agneby, du Bandama et du Cavally [17] Wognin *et al.* (2020). Les analyses génétiques ont indiqué une faible variabilité dans les populations de *Chrysichthys nigrodigitatus* de la Cross River inférieure et de la Cross River moyenne du Nigeria [18]

Un écart d'au moins trois nucléotides a été signalé entre les spécimens de la lagune Ebrié et ceux de la rivière Bia et de la lagune Aby. L'échange de gènes semble plus réduit entre ces deux bassins aquatiques et la lagune Ebrié d'où la divergence génétiques entre les spécimens. Ce faible flux semble être lié à l'éloignement géographique des cours d'eau auxquels appartiennent les individus. Cet isolement génique a été observé dans plusieurs travaux sur les animaux [19], [20] (Gell, 2012; Oremu *et al.*; 2015).

Les ségrégations sur l'arbre phénétique, obtenu à partir des distances génétiques, ne diffèrent pas de celles obtenues à partir des caractères morphologiques. L'arbre phylogénétique a fait apparaître les deux unités taxonomiques: d'un côté, les spécimens de la lagune Ebrié et de l'autre, ceux de la rivière Bia et de la lagune Aby. La population étudiée est donc divisée en deux clades monophylétiques. Des observations similaires ont été faites par [21] Nwafili *et al.* (2015) au sujet de l'espèce *C. nigrodigitatus* du Delta du Niger. L'analyse de l'ADNmt leurs a permis de scinder les huit populations étudiées en deux lignées matrilineaires monophylétiques.

5 CONCLUSION

Les analyses moléculaires ont permis de visualiser l'intérêt de la génétique des populations dans la connaissance de la structure génétique des populations des cours d'eau échantillonnés. La variabilité de la séquence D-loop a révélé une absence de différenciation génétique entre les poissons de la rivière Bia et ceux de la lagune Aby. Par contre, les spécimens de la lagune Ebrié divergent génétiquement de ces populations. La plasticité phénotypique et la grande variation génétique peuvent accroître les potentialités d'adaptation des poissons à des environnements changeants ou nouveaux. Des études complémentaires sur l'ensemble des bassins hydrographique de Côte d'Ivoire contribueraient à une meilleure connaissance de l'organisation spatiale des populations.

REFERENCES

- [1] A.T. Bedia, R.N. Etile, G.I. Goore, K.P. Essetchi, and V. N'Douba, «Paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) (Siluriformes, *Bagridae*) dans une lagune tropicale: Lagune Ebrié (Secteur 1: lagune Potou, Côte d'Ivoire), » *Tropicultura*, 35, 253-261, 2017.
DOI: 10.25518/2295-8010.1053.
- [2] A. H. Yao, A.R. Koumi, B.C. Atse, E.P. Kouamelan, «ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA PISCICULTURE EN COTE D'IVOIRE, » *Agronomie Africaine* 29 (3): 227 – 244, 2017.
<https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/164967>.
- [3] G.G. Teugels, «A systematic revision of African species of the genus *Clarias* (Pisces, *Clariidae*), » *Annales du musée royal de l'Afrique Centrale. Sciences Zoologiques*, 247, 199p, 1986.
- [4] T.A.S.C. Ouattara, «Différenciation morphologique et génétique des poissons du genre *Chrysichthys* de Côte d'Ivoire, » Thèse unique de Sciences de la Nature. Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 174p, 2019.
- [5] T. Chauhan, and K. Rajiv, «Molecular Markers and their Applications in Fisheries and Aquaculture,» *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 1: 281-291, 2010.
DOI: 10.4236/abb.2010.14037.
- [6] D. Paugy, C. Lévêque and G. G. Teugels, «Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest, » vol. 2. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1272p, 2003.

- [7] G. Girard, J. Sircoulon, et P. Touchebeuf, «Aperçu sur les régimes hydrologiques: In: Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, » (Avenard, J. M., Eldin, M., Girard, G., Sircoulon, J., Touchebeuf, P., Guillaumet, J. L., Adjanohoun, E., Perraud, A., eds). *Memoires Orstom*, 50, 109-155, 1971.
- [8] J.P. Vanden Bossche and G.M. Bernacsek, «Source book for the inland fishery resources of Africa, » *FAO Fisheries Technical paper*, 1812, Rome, 240p, 1990.
<https://www.fao.org/3/t0473e/T0473E00.htm>
- [9] Y.N. N'Goran, «Biologie, écologie et pêche de *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825) en lagune Aby (Côte d'Ivoire), » Thèse de doctorat, *UBO*, 227p, 1995.
- [10] J.J. Albaret, «Les poissons, biologie et peuplements. In Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II: Les milieux lagunaires, » Durand J.R., Dufour P, Guiral D, Guillaume S., Zabi F. Editions de l'ORSTOM, 39-280, 1994.
- [11] B.G.C. Caraguel, «Spéciation des requins: approches moléculaires et application à la traçabilité du commerce des ailerons, » Thèse de Doctorat vétérinaire de l'Ecole National de vétérinaire de Toulouse, 103p.
- [12] A.J. Drummond, B. Ashton, M. Cheung, J. Heled, M. Kearse, R. Moir, Geneious v4.8, Available from, 2009.
<http://www.geneious.com>
- [13] N. Saitou and M. Nei, «The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic tree,» *Molecular Biology and Evolution*, Vol 4, Issue 4, 406–425, 1987. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>.
- [14] A.B. Adepo-Gourene, «Diversité génétique des populations naturelles de poissons africains d'intérêt économique des familles Carcharhinidae, Clupeidae et Cichlidae, » Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 207p, 2008.
- [15] T.A.S. Ouattara, A.C. Bonny, K. M. Konan, A.B. Adepo-Gourene and G. Gourene, «Morphological and genetic characterization of *Chrysichthys* species from the Bia river (Cote d'Ivoire), » « *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*; 6 (1): 116-121, 2018.
<http://www.ijsk.org/ijrees.html>.
- [16] C. Lamya, M. Hichem Kara, J.P. Quignard, E. Faure, F. Bonhomme, «Forte différenciation génétique de la daurade *Sparus aurata* (L., 1758) entre les deux rives de la Méditerranée occidentale, » *Comptes Rendus Biologies*, 332 (4) 329–335, 2009.
Doi: 10.1016/j.crv.2008.11.002
- [17] M.-T. G. Wognin, D. P. Sokouri, C. N'G. Kouassi, G.K. Dayo, Y. Wongbé, C.V. Yapi-Gnaoré, «Diversité génétique de six populations de *Heterobranchius longifilis* de Côte d'Ivoire, » *Journal of Animal & Plant Sciences* Vol.44 (2): 7621-7633, 2020.
<https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v44-2.2>.
- [18] M.A. Chioma, A.U. Edak, V.O. Ntui, D. Ama-Abasi, «Morphological and Genetic Diversity Studies of *Chrysichthys nigrodigitatus* from the Cross River, Nigeria, Using Microsatellite Markers, » *Annual Research & Review in Biology*, 42-52, 2020.
DOI: 10.9734/arrb/2020/v35i530224.
- [19] J. C. Gell; «Structure genetique des populations de trois especes de poissons de recifs cubains: *stegastes partitus*, *haemulon flavolineatum* et *acanthurus tractus* Sciences agricoles,» Université Paris Sud - Paris XI; Universidad de La Habana (Cuba), 2012.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00713528>.
- [20] M. Oremus, C. Garrigue et C. Cleguer, «Etude génétique complémentaire sur le statut de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie, » Rapport final 44p, 2015.
DOI: 10.13140/RG.2.1.2693.6407.
- [21] S.A. Nwafili, R. Guijing and G.T. Xiang, «Preliminary Identification and Phylogenetic Study of *Chrysichthys* Pisces: Claroteidae from Upper River Benue, Nigeria Using Microsatellite DNA, » *Annual Research & Review in Biology*, 5 (6): 544-552, 2015.

Caractérisation de la filière de commercialisation du poisson dans la ville de Maradi (Niger)

[Characterization of the fish marketing sector in the city of Maradi (Niger)]

Mahamadou Issoufou Hassane and Moussa Oumarou Mariam

Université Djibo Hamani de Tahoua, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Département des Ressources Naturelles et de l'Environnement, BP 255 Tahoua, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study was conducted to characterize the fish marketing sector of Maradi Municipality. The survey methodology used was sampling of stakeholders (fishermen, wholesalers and retailers) and the selection of survey sites (landing platforms, markets and outlets). The data were collected following surveys carried out with a sample of 130 stakeholders, including 35 fishermen and 93 traders, at two fishing sites (Mawaliya and Sabon Rouwa), a market and outlets in municipalities 1 and 3 of the region. This study shows that in Maradi, fish are mostly marketed as fresh, fried and dried. Only men are involved in fishing, and both men and women participate in the marketing of fish. Four main players have been identified in the supply chain: fishermen, fishers, wholesalers and finally retailers. It has also made it possible to identify the method of acquisition of the fish, the provenance, the method of conservation and processing, to assess prices and to analyse the relationships and organisation of the actors involved in the marketing of the products on the market. Marketing of fresh fish appears to be a profitable activity mainly for wholesalers and fishmongers. In order to improve the distribution of added value at all levels and promote the availability of products to all consumers, the state must actively participate in the social and professional reorganization of stakeholders.

KEYWORDS: Fish, Characterization, marketing, Maradi, Niger.

RESUME: La présente étude vise à caractériser le secteur de la commercialisation du poisson dans la communauté urbaine de Maradi. La méthode de recherche utilisée a été l'échantillonnage d'acteurs (pêcheurs, mareyeurs, grossistes et détaillants) et la sélection des sites d'enquête (plateformes de débarquement, marchés et points de vente). Les données ont été collectées suite à des enquêtes réalisées auprès d'un échantillon des 130 acteurs dont 35 pêcheurs et 93 commerçants, sur deux sites de pêche (Mawaliya et Sabon Rouwa), un marché et des points de vente dans les communes 1 et 3 de ladite région. L'étude montre que le poisson à Maradi est surtout commercialisé état: frais, frit et séché. La capture est pratiquée uniquement par les hommes alors que la commercialisation du poisson concerne aussi bien des hommes que des femmes. Quatre principaux acteurs ont été identifiés dans la filière: Les pêcheurs, les mareyeurs, les grossistes et enfin les détaillants. Elle a permis en plus d'identifier le mode d'acquisition du poisson, la provenance, le mode de conservation et de transformation, évaluer les prix tout en analysant les relations et l'organisation des acteurs intervenant dans l'écoulement des produits sur le marché. La commercialisation du poisson frais semble être une activité rentable principalement pour les grossistes et les mareyeurs. En effet, afin d'améliorer le partage de la plus-value à tous les niveaux et de favoriser l'accès aux produits pour tous les consommateurs, l'État doit s'engager activement dans la restructuration sociale et professionnelle des acteurs.

MOTS-CLEFS: Poisson, Caractérisation, commercialisation, Maradi, Niger.

1 INTRODUCTION

Le sous-secteur de la pêche au Niger est dominé par la pêche continentale. Cette dernière contribue en moyenne à hauteur de 20 milliards de chiffre d'affaires par an à l'économie nationale. À l'échelle nationale, elle emploie 50 000 personnes qui vivent de la pêche,

parmi lesquelles des pêcheurs, des mareyeurs et des transformateurs [5]. La pêche peut ainsi contribuer de manière significative à la lutte contre la pauvreté, la sécurité alimentaire et la croissance du marché du poisson peuvent être encore favorisée par la disponibilité de marchés internes et externes pour des solvants potentiels adéquats. Par ailleurs, l'ichtyofaune nigérienne renferme un très grand nombre d'espèces de poissons, dont plusieurs présentent un potentiel certain pour l'aquaculture. Ainsi, les espèces ichtyologiques telles que *Lates niloticus*, *Tilapia niloticus*, *Clarias gariepinus*, et *Auchenoglanis occidentalis* font l'objet de pêcheries fluviales et sont également présentes au niveau des mares [18]. La consommation de poisson au Niger est de l'ordre de 3kg/habitat/an, exigeant principalement du poisson frais plutôt que transformé, dont le prix varie d'un endroit à l'autre et d'une espèce à l'autre.

Le poisson est une source de protéines d'origine animale que les populations africaines utilisent souvent pour subvenir à leurs besoins et assurer leur sécurité alimentaire [20]. Le poisson est une ressource halieutique très importante en raison de sa richesse en protéines dans l'alimentation humaine, et son exploitation peut contribuer à renforcer l'économie du risque non seulement dans les communautés de pêcheurs mais aussi dans les centres urbains. Outre leur haute valeur protéique, les poissons constituent une source alimentaire importante de lipides, de vitamines, de minéraux et d'oligoéléments ([7], [1]). À cette fin, le poisson fumé est le type de poisson de base le plus accessible aux ménages à faible revenu dans les pays en développement où les prix de la viande restent élevés pour le consommateur moyen [6].

En ce qui concerne la zone de Maradi, les pêcheries disposent d'un potentiel halieutique important caractérisé par des plans d'eau (un lac, huit mares permanentes et vingt-deux semi-permanentes) d'une superficie totale de 1500 hectares propices au développement de la pêche; de nombreux étangs piscicoles privés et étangs qui élèvent des espèces telles que la carpe (*Cyprinus carpio*), le tilapia (*Oreochromis niloticus*) et le poisson-chat (*Clarias gariepinus*).

Cet espace complexe n'est pas seulement une séquence d'opérations techniques, mais où s'établissent des relations entre acteurs et où cohabitent différents métiers et qualités organisationnelles. La commercialisation en amont et en aval du poisson (frais, frit et séché) induit des flux monétaires qui alimentent l'ensemble de l'économie et créent des liens sociaux très forts entre les acteurs concernés (pêcheurs, mareyeurs, grossistes, détaillants et consommateurs).

En fait, le système de commercialisation du poisson à Maradi prend une forme détournée; les mareyeurs vendent leurs prises directes. Ces mêmes mareyeurs peuvent transporter eux-mêmes le poisson vers les marchés urbains et côtiers où ils le vendent aux grossistes et aux détaillants. Ces vendeurs vendent également certains débarquements locaux de poisson frais congelé et de poisson frit achetés dans les magasins des entreprises productrices et, dans certains cas, le poisson peut changer de mains avant d'atteindre les consommateurs. Les espèces comme les carpes et les tilapias sont plus facilement vendus à Maradi que les poissons *Clarias*, mais une fois transformées (poisson fumé séché), cette espèce est très prise au Nigeria.

L'objectif général de cette étude vise à caractériser la filière de commercialisation de poissons dans la commune urbaine de Maradi. Plus spécifiquement il s'agira de: 1) Géo-contester et caractériser les points essentiels de vente de poissons. 2) Déterminer les atouts et les contraintes associés à la zone de commercialisation de poissons.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La région de Maradi est située dans la partie centrale sud du Niger et est limitée à l'Est et au Sud par la commune rurale de Djiratawa, à l'ouest par les Communes rurales de Safo et Sarkin Yamma au Sud, Maradi partage une longue bande frontière avec le Nigeria notamment les Etats de Sokoto zamfara et Katsina. Au Nord par la commune rurale de Tibiri Elle couvre une superficie de 41796 km² soit 3,30% du territoire national. Cette superficie se répartit comme suit:

- 29884km² de terres agricoles (soit 71,5%)
- 10446 km² de terres pastorales (soit 25%)
- 1463km² de terres forestières (soit 3,5%)

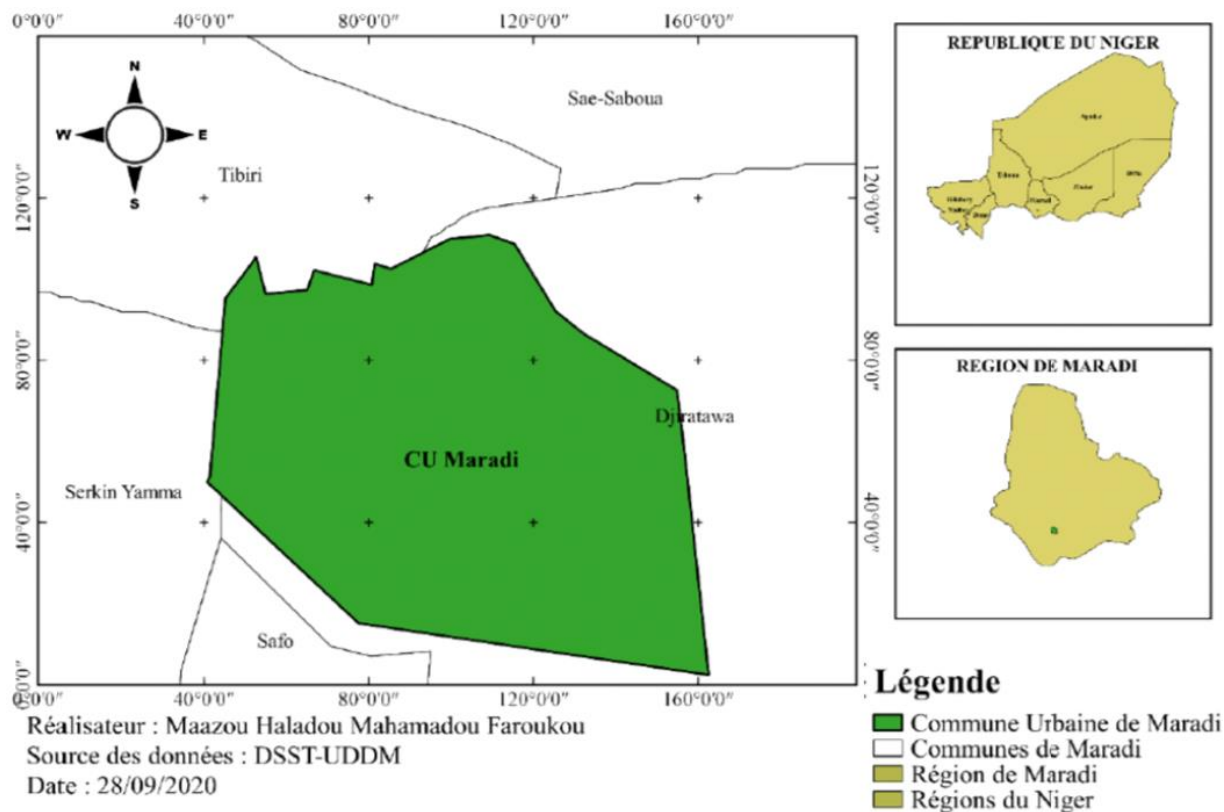


Fig. 1. Localisation de la commune urbaine de Maradi (PDC Maradi II)

La population de la région de Maradi est estimée à 4 694 0412 habitants [14] avec un taux d'accroissement naturel de 3,7% et une densité de 100 hab/km². Cette population est composée d'Haoussa (majoritaire 80%), de Zarma (4%), de Peuls sédentaires (2%), de Touareg et d'Arabes (1%) parmi lesquels l'Islam est la religion dominante. L'agriculture est la principale activité du pays, également dans la région de Maradi. Elle est relativement diversifiée mais dépend également de facteurs climatiques et édaphiques. Les principales cultures de cette zone sont: les cultures pluviales (céréales) et les cultures irriguées (maraîchage). De par son climat, la région de Maradi représente 25% de la production céréalière nationale et 60% de la production nationale de souchet. Après l'agriculture, l'élevage constitue la deuxième activité économique de la population de Maradi. Elle est pratiquée par plus de 90 % de la population et leur procure des revenus importants. C'est un moyen de réduire la pauvreté qui concerne aussi bien les hommes que les femmes et qui contribue à l'autonomisation économique des femmes en particulier. Le cheptel de la région est estimé à 2 662 843 UBT et représente environ 17,5% du cheptel national.

2.2 MATÉRIEL

Les matériels qui ont servi à la réalisation de cette étude sont: Un téléphone portable et une application Kobocollect pour la collecte des données et la prise de photo; Un GPS pour le géo-référencement des sites; Un ordinateur pour saisi; Un moyen de déplacement

2.3 MÉTHODES

Zone et Période d'étude: L'étude a été réalisée au niveau de deux communes parmi les trois communes que compte la ville de Maradi durant la période allant du 12 juin au 12 juillet 2023, Maradi, la capitale économique est située dans la partie centrale sud du Niger.

Choix des sites: L'enquête sur le terrain a été effectuée au niveau de deux sites de débarcadère (Mawaliya et Sabon Rouwa), et les points de vente du poisson du chef-lieu de la région. Ces deux sites de débarcadère et les deux communes ont été choisis car c'est les seuls lieux actifs en période de notre étude

Elaboration du questionnaire: Pour atteindre les objectifs de notre recherche, un questionnaire typique à chaque type d'acteur a été élaboré et réalisé sur la base de l'atteinte des objectifs spécifiques du thème donc chaque fiche constituée trois section: (1) La première section: consacrée aux caractéristiques sociales des pêcheurs et commerçants de poisson; (2) la deuxième section: la description des

circuits de commercialisation du poisson: lieu; mode d'achat, le mode de conservation et la pratique de vente; (3) la troisième section: est focalisée sur les coûts de transactions des acteurs.

Enquête et Collecte des données

Enquêtes: Les enquêtes sur le terrain ont été réalisées auprès de 35 pêcheurs au niveau des sites débarcadères (Mawaliya et Sabon Rouwa) et 89 commerçants au niveau des marchés et points de vente. La quête des données a été faite à l'aide d'un questionnaire par type d'acteur lors des entretiens individuels.

La collecte des données: est basée d'une part sur les données qualitatives relatives aux caractéristiques socio-économiques des pêcheurs et commerçants intervenant dans la filière de commercialisation du poisson (genre, niveau d'instruction, niveau d'éducation) leur organisation sur le marché et d'autre part sur les données quantitatives cela permettra de faire l'échantillonnage par choix raisonné. Les données ont été collectées par l'application KoboCollect.

Traitement et Analyse des données: Après les enquêtes, il a été procédé au dépouillement des données. Cette dernière a été faite de la manière suivante: Codage des réponses: c'est un système qui permet de transférer l'ensemble des informations recueillies des questionnaires administrés sur la grille de dépouillement qui est fonction des sections desdits questionnaires et guides. Pour se faire, il a consisté à faire une codification des données sur le tableur Excel. L'analyse des données statistiques a été effectuée conformément aux objectifs spécifiques de l'étude à l'aide du logiciel Excel.2016, SPSS version 22 pour gérer le modèle économétrique. Ensuite les données ont été analysées sous forme de tableaux commentés puis interprétés. Le test khi-deux a été utilisé pour les variables qualitatives selon les différents seuils (1, 5 et 10 %).

3 RÉSULTATS

3.1 RÉSULTATS

Les résultats de cette étude sont scindés en plusieurs chaînes vue les différents acteurs qui interviennent sur la filière, il s'agit des pêcheurs, mareyeurs, grossistes et enfin les détaillants (tableau 1). Il ressort de ces résultats que 48,6% des pêcheurs sont du site Mawaliya et 51,4% sont du site Sabon Rouwa. Les mareyeurs également sont répartis sur deux sites, 42,9% sont du site Mawaliya et 57,1% sont de l'autre site. Quant aux grossistes, 66,7% se retrouvent dans la commune 1 contre 33,3% qui sont de la commune 3. Pour finir avec les détaillants, la commune 1 regroupe 47,0% des enquêtés contre 53,0% des détaillants interviewés.

Tableau 1. *Situation de l'ensemble des acteurs de la filière poisson sur les deux sites*

Sites	Pêcheurs		Mareyeurs		Grossistes		Détaillants	
	Effectifs	(%)	Effectifs	(%)	Effectifs	(%)	Effectifs	(%)
Mawaliya	17	48,6	9	42,9	18	66,7	23	47,0
Sabon Rouwa	18	51,4	12	57,1	9	33,3	24	53,0
Somme totale	35	100,0	21	100,0	27	100,0	47	100,0

3.1.1 PÊCHEURS

CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES

L'étude conduite dans la région de Maradi au niveau de deux sites potentiels de pêche du chef-lieu de la région nous ressort quelques caractéristiques à la fois qualitatives et quantitatives des pêcheurs enquêtés dans la zone. Il ressort de cette analyse que l'ensemble de l'échantillon enquêté est constitué de sexe masculin (100%) et dont les tranches d'âge des pêcheurs varient de 16-20, 21-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-56 ans selon le site. Le tableau 2 nous indique que plus de 85% des enquêtés sont des Haoussa contre 14,3% sont des Zarma. On note également que la plupart de ces acteurs sont mariés avec 65,7% et 34,3% sont célibataires. Le site de Mawaliya regroupe le plus grand chiffre des mariés avec 76,5% des pêcheurs, il est néanmoins occupé par 23,5% des célibataires. L'analyse de khi-deux au seuil de 5% nous indique une différence hautement significative au niveau de ces deux sites sur la situation matrimoniale et légèrement significative au niveau de l'ethnie des enquêtés. Par ailleurs on note un niveau d'instruction très divers de l'ensemble de ces acteurs, on enregistre 54,3% des pêcheurs ayant le niveau primaire et 28,6% des pêcheurs qui ont le niveau collégien et enfin 17,1% des enquêtés ayant fréquenté l'école coranique. On observe une différence significative au niveau de l'école coranique et niveau collégien selon l'analyse de khi-deux de ces deux sites.

Tableau 2. Caractéristiques sociodémographiques

Variables	Modalités	Mawaliya	Sabon Rouwa	Moyennes	Khi-deux	P-value
Ethnie	Haoussa	94,1	77,8	85,7	3,90	**
	Zarma	5,9	22,2	14,3		
Statut matrimonial	Célibataire	23,5	44,4	34,3	4,16	***
	Marié	76,5	55,6	65,7		
Niveau d'instruction	Coranique	29,4	5,6	17,1	4,56	***
	Primaire	52,9	55,6	54,3	0,24	NS
	Collège	17,6	38,9	28,6	3,44	***

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; NS: différence non significative à 10 %.

CARACTÉRISTIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES

L'analyse du tableau 3 nous indique que 68,6% des pêcheurs enquêtés sur les deux sites sont membres soit d'une association ou bien d'un comité des pêcheurs. De ce fait, on note que 65,7% des pêcheurs sur l'ensemble de l'échantillon enquêté ont eu accès aux crédits soit d'une association, d'un projet ou bien d'une banque. La principale activité des pêcheurs reste et demeure la pêche avec comme principaux clients après la pêche le mareyeur avec 85,7% et les détaillants 14,3% des répondants. On enregistre une différence significative sur les clients au niveau de ces deux sites. La vente est généralement effectuée en espèce avec 91,4% des répondants contre 8,6% des répondants qui vendent à crédit.

Tableau 3. Caractéristiques socio-économiques

Variables	Modalités	Mawaliya	Sabon Rouwa	Moyennes	Khi-deux	P-value
Membre d'une association/comité	Non	58,8	5,6	31,4	11,51	***
	Oui	41,2	94,4	68,6		
Crédit d'un projet/association	Non	58,8	11,1	34,3	8,83	***
	Oui	41,2	88,9	65,7		
Principaux clients	Mayeur	100,0	72,2	85,7	5,50	***
	Détaillant	-	27,8	14,3		
Etat de vente	En espèce	94,1	88,9	91,4	0,30	NS
	A crédit	5,9	11,1	8,6		

*** $p < 0,01$; NS: différence non significative à 10 %.

NOMBRE DE SORTIE, QUANTITÉ (KG) DU POISSON CAPTURÉ ET L'ESTIMATION DE REVENUS

L'étude conduite sur ces deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa nous indique que les acteurs de cette chaîne disposent 8 ans d'année d'expérience en moyenne et celui-ci varie de 6 à 11 ans selon le site (tableau 4). On note le nombre de sortie par jour est de 1,48 ($\pm 0,74$) fois par site, ce qui fait que le nombre de sortie par semaine varie de 3,64 ($\pm 0,60$) à 4,33 ($\pm 0,76$) fois par semaine selon le site avec une moyenne de quatre (04) fois par semaine la sortie. La quantité de poissons capturés par sortie est généralement la même sur tous les sites avec 14,34 ($\pm 5,15$) kg. L'analyse de la variance au seuil de 5% n'indique aucune différence significative entre les sites sur la quantité de poissons capturés. L'estimation de revenus par moi des acteurs de cette chaîne varie de 29000 FCFA à 34000 FCFA selon le site avec une moyenne de 32000 FCFA sur l'ensemble de l'échantillon interviewé. L'analyse de la variance au seuil de 5% nous indique une différence légèrement significative entre les sites potentiels de cette activité sur les revenus des acteurs de cette chaîne.

Tableau 4. Nombre de sortie, quantité capturée et le revenu mensuel des pêcheurs

Communes	Nombre de sortie par jour	Nombre de sortie par semaine	Quantité du poisson capturez par sortie (kg)	Estimation revenus mensuels
Mawaliya	1,82±0,80	3,64±0,60	14,58±4,93	29000,70±9,09
Sabon Rouwa	1,16±0,51	4,33±0,76	14,11±5,47	34000,86±8,63
Moyennes	1,48±0,74	4±0,76	14,34±5,15	32000,35±9,11
T-test	T= 2,88; ddl=33/26,96; P≤0,007	T=-2,95; ddl=33/32,96; P≤0,006	T=0,270; ddl=33/32,96; P≤0,789	T=-1,72; ddl=33/32,60; P≤0,095

TYPE D'ESPÈCE DU POISSON PRÉSENT SUR LES SITES ET LES OUTILS DE L'OPÉRATION (PÊCHE)

Les acteurs de cette chaîne sur ces deux sites nous soulignent les différentes espèces retrouvées sur les sites à savoir les silures, carpes et tilapia. On enregistre une dominance de l'espèce carpe sur les deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa avec 53,3% des pêcheurs l'ayant souligné comme la plus dominante et silure avec 28,6% et enfin 18,1% des pêcheurs sur l'ensemble de l'échantillon enquêté. Le tableau 5 nous indique les outils de pêche à savoir le filet d'épervier et le filet maillant. On note plus de 80% des pêcheurs qui utilisent le filet maillant sur les deux sites et 17,1% des pêcheurs qui utilisent le filet d'épervier. L'analyse de khi-deux au seuil de 5% nous montre une différence significative entre les deux sites potentiels de la pêche au niveau de chef-lieu de la région.

On constate une diminution progressive de ces espèces sur les deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa dont les principales causes sont la pollution et le retrait du lit de la mare suite aux phénomènes de l'évaporation. Selon les pêcheurs, leur responsabilité n'est pas engagée dans ce fléau sans cesse continue pour le cas de la pollution des mares.

Tableau 5. Proportion des répondants sur les outils de la pêche au niveau des deux sites

Modalités	Mawaliya	Sabon Rouwa	Moyennes	Khi-deux	P-value
Filet d'épervier	23,5	11,1	17,1	3,14	**
Filet maillant	76,5	88,9	82,9		

**p < 0,05

TYPE DE CONSERVATION DU POISSON PAR LES PÊCHEURS SUR LES SITES

L'analyse du tableau 6 nous montre que les acteurs de cette chaîne disposent deux différents moyens pour la conservation avant la vente sur les sites. Il s'agit notamment de la conservation avec le sel poudre et la glacière dont plus 75% des pêcheurs conservent les poissons avec celle-ci contre 22,9% des pêcheurs utilisent le sel pour la conservation.

Tableau 6. Proportion des répondants sur le mode de conservation du poisson

Modalités	Mawaliya	Sabon Rouwa	Moyennes	Khi-deux	P-value
Glacière	82,4	72,2	77,1	4,50	**
Sel	17,6	27,8	22,9		

**p < 0,05

3.1.2 MAREYEURS

Les résultats de l'analyse ressortent la situation du deuxième acteur de la filière poisson (mareyeur) concernant les deux sites potentiels de pêche de chef-lieu de la région de Maradi (tableau 7). La moyenne d'âge de ces acteurs est de 41 ans et varie de 40 à 42 selon le site. On souligne une année d'expérience dans cette activité de 9 à 11 ans selon le site avec une moyenne de 10 ans d'expérience sur l'ensemble de l'échantillon enquêté sur les deux sites de la région. L'analyse de la variance au seuil de 5% n'indique aucune différence significative au niveau de deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa sur l'âge et l'année d'expérience des acteurs de cette chaîne.

Tableau 7. Moyennes d'âge et l'année d'expérience des mareyeurs sur les deux sites

Sites	Age	Année d'expérience
Mawaliya	40,5±10,48	9,37±4,24
Sabon Rouwa	42,75±7,23	11,66±3,96
Moyennes	41,85±8,49	10,75±4,12
T-test	t=0,57; ddl=18/11,41; P ≤0,578	t=1,23; ddl=18/14,41; P ≤0,233

QUANTITÉ D'ACHAT (KG), PRIX D'UN KG ET L'ESTIMATION DE REVENU DES MAREYEURS

De part de l'analyse, les acteurs de cette chaîne soulignent que l'approvisionnement en poisson s'effectue très souvent au niveau des pêcheurs de deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa (tableau 8). Et à chaque sortie d'achat on prend 11,75 à 16,87 kg selon le site avec une moyenne de 13,8 kg. L'analyse de la variance au seuil de 5%, nous fait distinguer une différence significative au niveau de deux sites sur la quantité achetée par les mareyeurs. Le prix d'un kg est généralement le même sur les deux sites 580 FCFA, on trouve une valeur d'un kg à 587,5FCFA (±83,45) site Mawaliya et 575FCFA (±86,60) à Sabon Rouwa. On estime un revenu de 45000 à 61666 FCFA selon le site avec une de 55000 FCFA sur l'ensemble de l'échantillon enquêté. Les résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% nous montrent une différence significative sur le revenu des acteurs de cette chaîne au niveau de ces deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa.

Tableau 8. Quantité d'achat (kg), prix d'un kg et l'estimation de revenu de ces acteurs.

Sites	Quantité par achat (en kg)	Q3.8	Prix d'un kg	Revenus
Mawaliya	16,87±3,31	13500±5631	587,5±83,45	45000±18516,40
Sabon Rouwa	11,75±5,52	11166,66±5441,14	575±86,60	61666,66±19694,63
Moyennes	13,8±5,32	12100±5495,45	580±83,35	55000±20519,56
T-test	t=2,34; ddl=18/17,8 P ≤0,031	t=-0,92; ddl=18/17,8; P ≤0,366	t=0,32; ddl=18/14,8; P ≤0,752	t=1,89; ddl=18/15,8; P ≤0,074

APPARTENANCE À UNE ASSOCIATION, ACCÈS AUX CRÉDITS, ESPÈCES DISPONIBLES ET LES PRINCIPAUX CLIENTS DES MAREYEURS

Les acteurs de cette chaîne sont principalement membre d'une association des pêcheurs dont plus de 55% en sont membres et 38,1% qui ne le sont pas (tableau 9). On rencontre plus de 65% des pêcheurs qui sont membres d'une association sur le site de Sabon Rouwa et 50% qui ne sont pas sur le site Mawaliya. L'analyse de la variance nous fait observer une différence hautement significative entre les deux sites sur l'appartenance à une association ou un comité des pêcheurs. De part cette appartenance, 23,8% des pêcheurs ont seulement accès aux crédits sur l'ensemble de l'échantillon enquêté de deux sites Mawaliya et Sabon Rouwa. On constate que plus de 70% des pêcheurs n'ont pas accès aux crédits pour améliorer cette chaîne de la filière poisson du chef-lieu de la région de Maradi.

Tableau 9. Accès aux crédits et espèces disponibles

Variables	Modalités	Mawaliya	Sabon Rouwa	Moyennes	Khi-deux	P-value
Membre d'une association ou d'un comité	Non	50,0	33,3	38,1	21,35	***
	Oui	50,0	66,7	57,1		
Crédit d'un projet/ association/ banque	Non	75,0	75,0	71,4	21,00	***
	Oui	25,0	25,0	23,8		
Espèces disponibles	Carpe	75,0	42,05	56,0	8,42	**
	Silure	75,0	25,0	39,7	7,35	**
	Tilapia	71,4	34,3	29,5	6,33	*

ETAT DE VENTE DU POISSON ET LES PRINCIPAUX CLIENTS

L'état de vente du poisson est frais au niveau de deux sites chez les mareyeurs et avec comme principaux clients les détaillants et les grossistes (tableau 10). Ces résultats indiquent que 76,2% des interviewés ont principaux client les détaillants et 19% des répondants soulignent les grossistes. On constate que les interviewés de site de Sabon Rouwa soulignent 91,7% des détaillant comme principaux

client et 8,3% sont les clients grossistes. Et enfin le site de Mawaliya les répondants indique que 62,5% sont des détaillants et 37,5% sont des grossistes. On observe une différence significative au niveau de seuil 5% sur les principaux clients.

Tableau 10. *Etat de vente du poisson et les principaux clients*

Variables	Modalités	Mawaliya	Sabon Rouwa	Moyennes	Khi-deux	P-value
Etat de vente	Frais	62,5	50,0	52,4	5,11	*
Principaux clients	Détaillant	62,5	91,7	76,2	8,16	***
	Grossiste	37,5	8,3	19,0	7,99	***

3.1.3 GROSSISTES

Les résultats de l'analyse du tableau 11 nous ressortent que l'ensemble des grossistes enquêtés sont majoritairement des mariés dont 74,1% contre 25,9% des célibataires. Le plus grand niveau des interviewés est le niveau collégien dont 55,6% avec 44,4% de niveau faibles sur l'ensemble de l'échantillon enquêté. L'analyse de khi-deux au seuil de 5% ne ressort aucune différence significative sur le niveau d'instruction au niveau des deux communes. En outre, l'appartenance à une association est faible au niveau de deux communes dont 33,3% des enquêtés en sont membres contre 66,7% qui ne le sont pas.

Tableau 11. *Caractéristiques sociodémographiques*

Variables	Modalités	Commune1	Commune3	Moyennes	Khi-deux	P-value
Statut matrimonial	Célibataire	22,2	33,3	25,9	0,38	NS
	Marié	77,8	66,7	74,1		
Niveau d'instruction	Alphabétisation	5,6	22,2	11,1	1,68	NS
	Collège	66,7	33,3	55,6	0,96	NS
	Coranique	11,1	11,1	11,1	-	NS
	Primaire	16,7	33,3	22,2	2,7	NS
Membre comité	Non	72,2	55,6	66,7	0,75	NS
	Oui	27,8	44,4	33,3		

NS: non significatif à 10 %

ACCÈS AUX CRÉDITS, PROVENANCE DU POISSON, MODE D'ACQUISITION ET LES ESPÈCES DISPONIBLES

De part cette analyse, plus de 70% de ces acteurs n'ont pas accès aux crédits, ce qui rend faible cette chaîne des grossistes de la filière poisson au niveau de ces communes (tableau 12). La provenance du poisson pour les grossistes est particulièrement admise par les mares dont on a 70,4% contre seulement 29,6% qui vient de Nigéria selon les enquêtés. Le mode d'acquisition du stock est sur place par 59% des enquêtés de cette chaîne. Les espèces disponibles que les grossistes retrouvent pour leur approvisionnement de l'ordre de trois espèces, il s'agit de carpe (88,9%), silure et capitans (7,4%) et enfin tilapia (3,7%) des enquêtés. On observe une différence significative au niveau de deux espèces carpe et silure et capitaines.

Tableau 12. *Accès aux crédits, provenance du poisson, mode d'acquisition et les espèces disponibles.*

Variables	Modalités	Commune1	Commune 3	Moyennes	Khi-deux	P-value
Crédit d'un projet/ une banque	Non	77,8	66,7	74,1	0,38	NS
	Oui	22,2	33,3	25,9		
Provenance du poisson	Mare	66,7	77,8	70,4	0,35	NS
	Nigeria	33,3	22,2	29,6		
Mode d'acquisition	Dépôt	38,9	44,4	40,7	0,07	NS
	Sur place	61,1	55,6	59,3		
Espèce achetez de plus	Carpe	94,4	77,8	88,9	5,41	*
	Silure, capitans	-	22,2	7,4	6,44	**
	Tilapia	5,6	-	3,7	4,68	NS

p < 0,05; *p < 0,01; NS: différence non significative à 10 %.

QUANTITÉ DU POISSON, PRIX D'ACHAT DU POISSON ET L'ESTIMATION DE REVENUS.

Les résultats du tableau 13 ressort que la quantité achetée par les grossistes de la filière poisson varie de 115 kg à 127,77 kg par opération. La moyenne de quantité achetée tourne autour de 119,25 kg. On note cependant la quantité vendue en retour varie d'une commune à une autre de 29,56 à 30 kg avec une moyenne qui tourne autour de 29,75 kg. Le prix de la quantité par opération d'achat varie également de 41944 FCFA à 64000 FCFA selon la zone. Cette opération permet d'engranger un revenu qui s'élève de 55000 FCFA au niveau de la commune 1 et 61000 FCFA au niveau de la commune 3 avec une moyenne 57000 FCFA sur l'ensemble de deux sites concernés.

Tableau 13. Quantité achetée, quantité vendue, Prix d'achat du produit et l'estimation de revenus

Communes	Quantité achetée	Quantité vendue	Prix du produit	Revenus
Commune 1	115±74,51	29,56±14,96	41944,44±59324	55000,16±35000,87
Commune 3	127,77±75,46	30,00±15,10	64000±12390,26	61000,11±31000,89
Moyennes	119,25±73,62	29,75±15,05	49296,29±85607,24	57000,14±34000,09
T-test	T= -0,07; ddl=25/15; P≤0,943	T= -0,024; ddl=25/15,7; P≤0,294	T= -0,624; ddl=25/15,7; P≤0,694	T= -0,42; ddl=25/17; P≤0,678

ETAT DE VENTE, ACHAT ET UNITÉ DE VENTE ET LES MOYENS DE CONSERVATION

Les acteurs de cette chaîne effectuent également la vente de leur produit à l'état frais dont on a plus de 60% des enquêtés contre 33,3% des interviewés vendent à l'état assez frais (tableau 14). L'achat du produit (poisson) s'effectue à crédit avec plus de 85,2% des enquêtés contre 14,8% des répondants achètent en espèce le produit. Le lieu d'achat des grossistes est sur les sites potentiels du chef-lieu de la région (auprès des pêcheurs) avec une proportion de 48,1% contre 51,9% qui achètent ailleurs. L'unité de vente est non conventionnelle, il s'agit de vente en tas dont plus de 70% des interviewés utilisent cette unité de vente. Les répondants conservent leur produit avec la glacière 66,7% et le congélateur 33,3% des répondants

Tableau 14. Etat de vente, achat et unité de vente et les moyens de conservation

Variables	Modalités	Commune 1	Commune 3	Moyennes	Khi-deux	P-value
Etat de vente	Assez frais	33,3	33,3	33,3	-	-
	Frais	66,7	66,7	66,7		
Achat à Crédit	Non	16,7	11,1	14,8	0,14	ns
	Oui	83,3	88,9	85,2		
Achat pêcheur	Non	44,4	66,7	51,9	1,18	NS
	Oui	55,6	33,3	48,1		
Unité de vente	Kg	22,2	33,3	25,9	8,11	***
	Tas	77,8	66,7	74,1		
Moyen de conservation	Congélateur	33,3	33,3	33,3	5,99	***
	Glacière	66,7	66,7	66,7		

*** $p < 0,01$; NS: différence non significative à 10 %.

3.1.4 DÉTAILLANTS

Les résultats de l'analyse de ces informations sur les détaillants nous ressortent qu'il existe de sexe féminin dans la vente de ce produit avec une proportion de 4,3% des enquêtés sur l'ensemble de l'échantillon enquêtés et plus de 50% sont mariés (tableau 15). Le plus grand niveau d'instruction de ces acteurs est le niveau primaire dont 44,7% des enquêtés l'atteignent. On souligne en outre que 17% des enquêtés sont membres d'une association de la filière poisson dans la zone. La provenance du poisson des détaillants est majoritairement importée hors du site. Néanmoins on ne souligne que 64,7% des enquêtés dans la Commune 1. L'analyse de khi-deux au seuil de 5% nous indique une différence hautement significative sur la provenance du poisson.

Tableau 15. Caractéristiques sociodémographiques

Variables	Modalités	Commune 1	Commune 3	Moyennes	Khi-deux	P-value
Sexe	Féminin	-	11,1	4,3	15,79	***
	Masculin	100,0	88,9	87,2		
Statut matrimonial	Célibataire	35,3	61,1	40,4	16,50	***
	Marié	64,7	38,9	51,1		
Niveau d'instruction	Coranique	11,8	11,1	10,6	0,49	NS
	Primaire	41,2	61,1	44,7	2,19	NS
	Collège	47,1	27,8	36,2	1,21	NS
Membre Association	Non	76,5	88,9	74,5	13,93	***
	Oui	23,5	11,1	17,0		
Provenance	Importé	35,3	100,0	61,7	31,06	***
	Mare	64,7	-	29,8		

*** $p < 0,01$; NS: différence non significative à 10 %.

AGE, ANNÉE D'EXPÉRIENCE ET LE PRIX D'ACHAT DU PRODUIT

L'âge des détaillants varie de 28 à 32 ans et la moyenne d'âge est de 30 ans sur l'ensemble de l'échantillon enquêté (tableau 16). L'année d'expérience des acteurs de cette chaîne est de 10 ans en moyenne et le produit est acheté de 24588 à 40882 FCFA avec une moyenne de 33441 FCFA. L'analyse de la variance au seuil de 5% indique une différence significative au niveau de prix du produit.

Tableau 16. L'âge, année d'expérience et le prix d'achat du produit.

Sites	Age	Année d'expérience	Prix d'achat du produit
Commune 1	32±8,93	10,26±4,78	24588,23±11699
Commune 3	28,66±8,91	10,08±4,23	40888,88±18435
Moyennes	30,90±9,38	9,94±4,19	33441,86±17927,50
T-test	T= 1,103; ddl=33/32,87; P≤0,277	T= 0,119; ddl=33/31,95; P≤0,906	T= -3,102; ddl=33/28,87; P≤0,004

ÉTAT DE POISSON, ESPÈCES VENDUES, ACHAT DU POISSON ET LES PRINCIPAUX CLIENTS

Les poissons sont tous vendus à l'état frais, plus de 80% et les espèces vendues par les détaillants sont entre autre, il s'agit de carpe, poisson de mer et silure (tableau 17). L'espèce la plus vendue est le poisson de mer par les 38,3% des répondants sur les deux sites. Ensuite l'espèce carpe 29,8% des interviewés et enfin l'espèce silure 19,1%. Plus de 75% des répondants détaillants achètent le poisson à crédit et seulement 12,8% des répondants achètent en espèce le poisson. On observe une différence significative entre les différentes variables étudiées dans les communes 1 et 3.

Tableau 17. État de poisson, espèces vendues et l'achat de poisson

Variables	Modalités	Commune1	Commune2	Moyennes	Khi-deux	P-value
État du poisson	Frit	23,5		10,6	17,90	***
	Frais	76,5	100,0	80,9		
Espèce vendue	Carpe	52,9	22,2	29,8	7,36	**
	Poisson de mer	11,8	77,8	38,3	17,77	***
	Silure	35,3		19,1	7,17	**
Achat à crédit	Non	23,5	5,6	12,8	15,33	***
	Oui	76,5	94,4	78,7		

LES PRINCIPAUX CLIENTS DE DÉTAILLANTS DE LA FILIÈRE POISSON

L'analyse souligne que les principaux clients de cette chaîne sont les ménages et les restaurants (tableau 18). On note que plus de 60% des interviewés mentionne que les ménages sont les premiers clients potentiels de cette chaîne et enfin les restaurants (39,0%) qui

viennent s'acheter le poisson auprès des détaillants. Le plus petit chiffre d'achat de la part des restaurants vient de la commune 1 avec 88,2% des ménages qui viennent acheter.

Tableau 18. Les principaux clients de détaillants de la filière poisson

Modalités	Commune 1	Commune 2	%Moyen	Khi-deux	Signification
Ménage	88,2%	54,0%	61,0%	19,20	***
Restaurant	11,8%	46,0%	39,0%		

QUANTITÉ D'ACHAT (KG) PAR OPÉRATION ET LA QUANTITÉ VENDUE (KG) ET L'ESTIMATION DE REVENUS

La quantité achetée par opération varie d'une localité à une autre par les détaillants (tableau 19). La plus grande quantité achetée est 40,25 kg au niveau de la commune 1 et 35,22 kg à la commune 3. La quantité moyenne achetée par opération 37 kg de poisson par les détaillants. Les quantités vendues en retour varient de 10,56 à 14,81 kg en détail et la moyenne reste autour de 13,23 kg. L'analyse de la variance au seuil de 5% nous indique une différence significative entre les sites sur la variable quantité vendue ($P \leq 0,000$).

Tableau 19. Quantité achetée en kg à chaque opération et la quantité vendue en kg

Sites	Quantité achetée en kg	Quantité vendue en kg
Commune 1	40,25±19,14	10,56±4,77
Commune 3	35,22±12,53	14,81±3,69
Moyennes	37,09±15,30	13,23±4,57
T-test	T=1,096; ddl=27/22,96; $P \leq 0,283$	T= -4,183; ddl=27/26,95; $P \leq 0,000$

4 DISCUSSIONS

Les résultats de la caractérisation du secteur de commercialisation du poisson identifient quatre acteurs principaux au sein du circuit de commercialisation, dont les pêcheurs constituent le premier maillon de cette chaîne. Cette affirmation est confirmée par le [17] selon lequel les principaux acteurs de la filière pêche sont les pêcheurs; sans eux, pas de poisson. Les pêcheurs sont tous nationaux et pratiquent exclusivement la pêche. Le traitement exclusif de ces travaux s'explique probablement par le fait que la région n'est pas reconnue comme une zone de pêche intensive. Ainsi, elle n'attire pas les étrangers en matière de pêche et de pisciculture. Ce résultat vient conforter le résultat de [12] dans la région de Gontaugo où cette activité est exercée uniquement par des nationaux.

La pêche et la commercialisation sont dominées par des acteurs plus jeunes, avec la tranche d'âge la plus élevée [30-50 ans] parmi les pêcheurs, les mareyeurs et les grossistes. La majorité des détaillants sont des jeunes. En ce qui concerne la structure des acteurs interrogés par sexe, on constate une nette prédominance des hommes par rapport aux femmes. Sur les 130 acteurs interrogés, nous avons trouvé 127 hommes et 3 femmes. Ces femmes exercent ce métier parce qu'elles ont hérité du métier de leurs parents. [8] ont confirmé l'affirmation selon laquelle les rares femmes qui effectuent ce travail le font soit par héritage du décès de leur mari, soit par partage des biens suite à un divorce dans le lieu de résidence matrilocale. Cependant, [13] expliquent l'absence des femmes dans l'activité de pêche par des facteurs culturels qui les relèguent majoritairement aux activités domestiques, et par ailleurs, il est assez courant dans nos sociétés rurales que la femme soit intégrée à cette activité.

Une prédominance des personnes âgées dans la production et le marché a également été constatée. Cela peut s'expliquer par le nombre élevé de personnes instruites de base ciblées par notre échantillon. La grande majorité des pêcheurs et des mareyeurs sont mariés, cela suppose à quel point cette activité peut procurer de revenus dans la prise en charge familiale. Ce qui explique le degré d'importance de cette activité lucrative comme source de revenus et contribution à la lutte contre la pauvreté.

Les pêcheurs de notre échantillon opèrent plus sur la mare de Mawaliya avec deux à trois sorties par jour que sur la mare de Sabon Rouwa dont la sortie est faite une seule fois par jour. On note le nombre d'années d'expérience influence la production du poisson. Cette activité exige de l'expérience de la part de ceux qui la pratiquent afin de booster la production. La fréquence d'approvisionnement hebdomadaire de l'ensemble des agents économiques est 3 à 4 fois par semaine sauf pour les détaillants qui vendent leur produit à l'état frit qui s'approvisionnent en quantité suffisantes à écouler de façon journalière.

La majorité des pêcheurs des deux sites sont organisés en association et ont eu accès aux crédits d'un projet. Ces résultats contrastent avec les résultats de [9] selon lesquels, étant très individualistes, les pêcheurs continentaux n'ont jamais mis en place de structures d'organisations professionnelles, que ce soit en groupes ou en associations. Chez les grossistes et les détaillants l'absence d'organisation en association a été aussi constatée par [11]. Cela pourrait s'expliquer par la mauvaise gestion des membres, et par le fait

qu'il y a très peu de produits de la pêche dans ce lieu. De plus, cette activité devient pour eux une activité facultative. Ces résultats confortent ceux de [19] dans la région d'Abidjan-Agboville où la plupart des pêcheurs ne sont pas organisés en coopératives.

Chaque acteur essaie indépendamment des autres, cherchant des solutions aux problèmes auxquels il est confronté. Notre observation contraste avec celle de [3] selon laquelle les pêcheurs sont organisés en associations, déclarées à une administration compétente. Il en est de même pour celles de la zone d'Aboiso dont les coopératives ont enregistré un soutien total de la part de tous les pisciculteurs ([19]) mais ces derniers déclarent n'avoir jamais bénéficié de crédit. L'activité crée un lien fort entre les acteurs. Ce lien est basé sur la confiance et la fidélité. [19] confirme que l'étude du terrain permet de rendre compte des relations d'interdépendance qui existent entre les différents acteurs de la filière. Les agents économiques ont mis en place un système de clientélisme bien organisé et daté. En effet, la plupart des pêcheurs confient leurs prises aux mareyeurs. Cependant, certains pêcheurs vendent leurs prises directement aux ménages. Le poisson est conditionné et conservé sous glace et/ou sel avant d'être vendu aux grossistes. Ces derniers s'approvisionnent auprès des mareyeurs et les revendent à des vendeurs en dépôt. Cela montre à quel point l'activité est encore traditionnelle.

Ces résultats corroborent à ceux du [17] qui confirme que l'organisation de la commercialisation du poisson est ancienne. Quant aux grossistes de Maradi, ils ont développé un système d'approvisionnement compromis: ils collectent à leur tour les approvisionnements des collecteurs le long des mares jusqu'au Nigeria. Les poissons sont généralement vendus entiers. De plus, les lieux d'approvisionnement et de collecte du poisson frais sont les sources d'approvisionnement et de plus on retrouve une classification des acteurs selon le travail, les moyens de production et le mode de conservation au sein de chaque maillon.

Parmi les commerçants, comme ces variables évoquées, il existe des classifications selon le mode de vente (gros/détail) et le type de produit (frais, frit ou séché). On retrouve ainsi différents commerçants (mareyeurs, grossistes, détaillants) et niveaux de revenus. Les pêcheurs, les marchands de poisson, les grossistes et les détaillants pourraient être considérés comme des acteurs directs, tandis que les ménages et les restaurants pourraient être considérés comme des acteurs indirects. Concernant les régions, les niveaux de revenus varient selon les liens, les grossistes sont donc les acteurs avec le niveau de revenus et la valeur les plus élevés (55 000 FCFA au niveau de la Commune 1 et 61 000 FCFA au niveau de la Commune 3 avec une moyenne de 57 000 FCFA/500 FCFA par tas de poisson local) dans les deux communes concernées. La carpe, le poisson-chat et le tilapia étaient principalement des espèces capturées majoritairement achetées, dont le prix varie d'une espèce à l'autre. Cette situation explique pourquoi ces espèces s'adaptent facilement aux conditions d'élevage et sont très appréciées par les populations. Le mode d'achat se fait généralement à crédit entre les pêcheurs et les mareyeurs et entre grossistes et détaillants. Au niveau du point de vente, les ventes et les achats se font toujours entre les mareyeurs et les grossistes et entre les détaillants et les ménages, ce qui permet des ventes rapides de produits.

La production aquacole annuelle reste relativement faible. Ce faible rendement s'explique par le coût élevé des engins de pêche, la pollution du site de pêche, la disparition de certaines espèces, le manque de financement, les faibles niveaux d'eau en saison sèche, mais surtout les problèmes d'aide. Cette fragilité et vulnérabilité des ressources en eaux souterraines confortent l'étude de [21] au sud-ouest de la Côte d'Ivoire.

Quant à la vente, la quantité de poisson varie selon le type d'acteurs et le mode de vente. La conservation se fait au sel et au froid pendant la pêche et la collecte, le transport et la vente. Craignant des coûts supplémentaires, les pêcheurs préfèrent vendre leurs produits frais et la transformation commence au niveau des détaillants. En raison du manque de source d'énergie pour le système de froid au niveau des mareyeurs et des grossistes, la majorité des pêcheurs traditionnels n'utilisent pas de glace ou ne respectent pas les normes de conservation. Cela montre que les normes de conservation ne sont pas respectées. Selon [17], 1 kg de glace est nécessaire pour conserver 2 kg de poisson. C'est ce que l'on observe chez les grossistes et les détaillants. Cependant, le mode de vente au détail et le système de tour de rôle nécessitent respectivement des congélateurs pour stocker les produits des grossistes.

Les pêcheurs, pourtant acteurs clés de la pêche, sont désavantagés dans la répartition des revenus car ils n'ont pas accès aux marchés de consommation. Ce résultat est proche de ceux constatés dans le lac Tanganyika pour lequel le marché du circuit de pêche est monopolisé par les poissonniers qui imposent les règles du jeu ([10], [15]). Les poissons étaient vendus aux mareyeurs, grossistes aux détaillants et aux consommateurs (ménage/restaurant). Nos résultats peuvent être similaires à ceux de [19] qui a observé que la clientèle des pêcheries est représentée par les résidents à proximité immédiate de l'exploitation. Il peut s'agir de consommateurs ou de propriétaires de maquis et de restaurants.

Les autres clients sont des amis et des proches des pêcheurs qui achètent également pour leur propre consommation ou pour approvisionner leur maquis et/ou leurs criées. Les poissons étaient vendus en tas entre 500f et 2000FCFA selon l'espèce et la taille du poisson. La structure des chaînes de valeur est composée de différents maillons, opérateurs, de leurs caractéristiques et de leurs interactions. Cette structure aura donc un impact sur la rentabilité économique des chaînes de valeur du poisson. Les résultats de l'analyse comptable ont montré que les acteurs se dessinent des profils dans la commercialisation du poisson frais, frit et séché. Ces résultats nets des comptes d'exploitation des différents opérateurs de commercialisation sont positifs. Les mareyeurs et les détaillants supportent des coûts financiers et physiques inférieurs à ceux des grossistes, mais ces derniers gagnent davantage. Tous les acteurs

soutiennent que cette activité est rentable car elle leur permet de couvrir les charges. Ce constat va dans le même sens que celui de [16] qui indiquait que la pêche est une activité rentable et très appréciée des pêcheurs de Gbotoye (en Guinée).

L'analyse des contraintes a révélé l'existence de quatre facteurs principaux menaçant la durabilité de la pêche à Maradi. Le premier est la pollution des zones de pêche. Ce facteur réduit considérablement les zones de pêche et entraîne de grandes pertes d'engins de pêche. Ensuite, il y a le manque de contrôle de gestion qui encourage les mauvais comportements dans le plan d'eau. Il existe également une forte pression pour épuiser progressivement la ressource. Cela se manifeste par une diminution croissante du volume de capture. Enfin, les acteurs manquent d'organisation. Selon cette enquête, un bon nombre d'aléas ont été identifiés. Les principaux facteurs d'aléa dans la transformation de la pêche sont la diminution progressive de la quantité d'approvisionnement, le manque de bois de chauffage qui devient de plus en plus cher, le manque d'équipements de conservation et d'équipement de production.

La réduction de l'offre et les pertes dues à l'état d'exploitation du poisson menacent également le marché. Cette diminution progressive des niveaux d'approvisionnement sera l'effet des contraintes dans la chaîne de capture. Cependant, les menaces pesant sur les captures, telles qu'une forte pression sur les ressources, une baisse des quantités de capture et des contrôles inadéquats, sont causées par une forte demande de poisson au niveau de la transformation et de la commercialisation. En effet, aujourd'hui, la très forte demande de poisson de la part des transformateurs, des commerçants et des consommateurs fait du poisson un produit commercialisable. En conséquence, les pêcheurs qui veulent gagner de l'argent capturent non seulement du poisson tous les jours, mais utilisent également des filets irréguliers. D'un autre côté, le nombre de pêcheurs augmente car cette pêche leur rapporte facilement de l'argent. Cette situation entraînerait une augmentation substantielle du nombre de pêcheurs, cela signifierait que la pêche se déroulerait toute l'année sans fermeture. Au vu de toutes ces conditions, on peut dire que les principales menaces pour les activités de pêche se situent au niveau de la production.

Il existe des possibilités d'amélioration au niveau de la production ainsi qu'au niveau de la transformation et de la commercialisation. La motivation des pêcheurs à s'impliquer dans la gestion durable des ressources se manifeste à travers la mise en place d'un comité de suivi composé de pêcheurs de différents groupes. Cette organisation des acteurs est une opportunité pour améliorer la productivité. [2], [22] et [4] ont noté une volonté politique, une cogestion et une forte demande de poisson. Le niveau d'organisation au niveau de la transformation, la production durable et le type de transformateur sont de réelles opportunités pour la filière. En effet, nos observations ont montré que les transformateurs sont les acteurs les mieux organisés dans le domaine. Également dans les mares de Mawaliya et Sabon Rouwa la capture se fait pendant toute l'année contrairement aux lacs et des points d'eaux où la capture est périodique.

Cette situation fait que les transformateurs disposent toujours du poisson à transformer même si la quantité varie d'une période à l'autre. Enfin, la mobilité des commerçants au niveau de la commercialisation, la forte demande dans les villes et la préférence pour le poisson local au détriment du poisson importé sont de réelles possibilités d'amélioration des activités de commercialisation. Ces résultats confirment ceux de [2] au niveau national.

5 CONCLUSION

L'étude a permis de comprendre le système de commercialisation du poisson à Maradi et les acteurs impliqués dans cette activité. Les acteurs sont: les pêcheurs, les mareyeurs, les grossistes et les détaillants. Cette étude montre que les hommes musulmans prédominent dans la vente du poisson dans cette zone. De plus, il est entièrement géré par des Nigériens. En effet, certains hommes de ladite région ne pensent pas que cela rapporte réellement grand-chose, d'ailleurs, même si cela explique leur réticence à vouloir y investir, ce dernier est de plus en plus connu. Ceux qui le pratiquent l'ont découvert dans les pays voisins comme le Nigeria où ils l'ont hérité de leurs parents. Ces entretiens avec les pêcheurs et les mareyeurs ont permis de recueillir des données structurelles sur la pêcherie, de caractériser le secteur de commercialisation et de déterminer sa contribution à la communauté urbaine de la région.

Le système de commercialisation est tel que le poisson est pêché dans les mares de Mawlia et Sabon Rauwa. Il est acheté par le mareyeur puis transporté par des grossistes jusqu'en ville sous la glacière. Les poissons frais et fuit se sont relevés les plus sollicités. La ville de Maradi s'approvisionne de la production locale et des poissons importés du Nigeria. En conclusion trois circuits de commercialisation sont distingués: le circuit long, le circuit court et le circuit direct, parmi lesquels le circuit court est la méthode de commercialisation la plus utilisée dans la collecte et la vente du poisson. Cependant l'analyse de la filière de commercialisation du poisson dans la ville de Maradi pourrait identifier des barrières institutionnelles et des barrières financières et économiques.

Concernant les différents obstacles identifiés, les recommandations suivantes ont été faites aux différents acteurs:

- Au ministre de l'Environnement, de mettre l'accent sur les politiques de pêche car: sans contrôles, il n'y a pas de poisson.
- La formation des jeunes pêcheurs nationaux à travers le MINEPIA est une fonction de l'État qui mérite d'être renforcée. De plus, il est fortement recommandé d'organiser une telle formation chaque année.
- La relance et la redynamisation des coopératives de pêche.
- La répartition rationnelle des pêcheurs entre les zones de pêche.

- Désensablement et modernisation de zone de pêche.
- Le système d'octroi et de contrôle du crédit aux pêcheurs et aux divers autres opérateurs économiques de la région doit être mis en place dans une perspective de développement de toutes les composantes de la région.
- Promouvoir un développement organisationnel des communautés de pêche.
- Encourager les groupements pré-coopératifs ou d'intérêt économique.
- La mise en place des fermes piscicoles pour satisfaire la demande de la population.
- Organiser des campagnes de vulgarisation sur l'importance de la consommation.
- Formation des différents acteurs du domaine

REFERENCES

- [1] H.O Abdoullahi, F. Tapsoba, F. Guira, C. Zongo, I.A. Lawane, A. Tidjani, A. Savadogo, Technologies, qualité et importance socioéconomique du poisson séché en Afrique. *Rev. Sci. Techno.*, vol. 3, no. 7, pp.49–63, 2018.
- [2] E. Bado, S. Baro, B.A. Guimbri, C. Kabore, K. Kabore, D.C. Ouattara, N. Ouedraogo, Z. Soubeiga, R.A. Yerbanga, R. Zerbo, Analyse de la filière pêche au Burkina Faso, Burkina Faso, MAHRH, 46p, 2007.
- [3] C.M. Blé, La Pisciculture dans le Centre-Ouest et le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire: Situation actuelle et enjeux de l'encadrement technique par l'ONG APDRACI. ECFP7 Project, Côte d'Ivoire, 26 p, 2010.
- [4] DGRH, Evaluation et analyse de la chaîne de valeur poisson sensible au genre, Burkina Faso, 54p, 2017.
- [5] DPA, Rapport trimestriel d'activités 2011. Direction nationale de la Pêche et de l'Aquaculture. Niamey: DPA/DGE/EF.12P, 2011.
- [6] FAO, Coe d'usages pour les poissons et les produits de la pêche. 173p, 2009.
- [7] J. Girardet, J. Chouraqui, C. Dupont, A. Bocquet, J. Bresson, A. Briend, D. Darmaun, M. Frelut, J. Ghisolfi, O. Goulet, G. Putet, D. Rieu, J. Rigo, D. Turck, M. Vidailhet, Comité de nutrition de la société française de pédiatrie. Alimentation de l'enfant et facteurs de risque cardiovasculaires. *Arch Pédiatrique*, pp.51-59, 2012.
- [8] J.P. Hirigoyen, Y. Manjeli, G.C Mouncharou, Caractéristiques de la pisciculture dans la zone forestière du Centre Cameroun, *TROPICULTURA*, vol. 15, no. 4, pp.180-185, 1997.
- [9] Madagascar, Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage, et de la Pêche, Filière pêche continentale traditionnelle. MAEP UPDR, Océan Consultant: Filières de l'Agriculture, de l'Élevage, et de la Pêche, et actions du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage, et de la Pêche. Fiche 303a. pp.1-8, 2004.
- [10] C.D. Mushagalusa, J.C. Micha, G. Ntakimazi, N. Muderhwa, Brief evaluation of the current state of fish stocks landed by artisanal fishing units from the extreme northwest part of Lake Tanganyika. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, vol. 2, no. 4, pp. 41-48, 2015.
- [11] K.M. N'dri, K. Yao, G.J. Ibo, La pisciculture continentale dans la région du Gontougo (Côte d'Ivoire): Caractérisation et aspects socioéconomiques. *Tropicultura*, vol. 34, no. 3, pp.300-312, 2016.
- [12] K.M. N'dri, Gestion de la pêche et de la pisciculture en milieu continental ivoirien: état des lieux et aspects socioéconomiques. Thèse de Doctorat Unique en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 155 p, 2018.
- [13] K.H.J. Niamien, G.R.Y. Koffi, Y.T Niamien, J.P. Assi-kaudjhis, M. Oswald « Projets piscicoles et dynamique des pratiques paysannes dans le quart sud-ouest ivoirien », *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, Numéro 1, pp.2521-2125, 2017.
- [14] OCHA, Niger - Région de Maradi Analyse situationnelle trimestrielle. 11p, 2021.
- [15] M.G. Okito, J.C. Micha, J.B. Habarugira, G. Ntakimazi, M.V. Nshombo, N.P. Bizuru, B.G. Muhirwa, Socio-économie de la pêche artisanale dans les eaux burundaises du lac Tanganyika à Mvugo et Muguruka. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 247-265, 2017.
- [16] M. Oswald, La pisciculture extensive, une diversification complémentaire des économies de plantation. APDRAF/ISTOM, Côte d'Ivoire, 21 p, 2013.
- [17] RGAC, NIGER. Ministère de l'hydraulique et de l'environnement: Projet appui à la sécurisation et à la consolidation du recensement général de l'agriculture et du cheptel au Niger. GCP/NER/049/SPA. Rapport final volet pêche aquaculture. Niamey: DPA.37p, 2011.
- [18] SDPA Stratégie de développement de la pêche et de l'aquaculture, NIGER. Ministère de l'environnement et de la lutte contre la désertification, Niamey: ME/LCD.45p, 2007.
- [19] K.N.B. Toily, La filière piscicole en Côte d'Ivoire: Cas des régions d'Abidjan, d'Agboville et Aboisso. Thèse: Médecine vétérinaire: Dakar; vol. 1, no.1, 86p, 2009.
- [20] WorldFish centre, Le poisson et la sécurité alimentaire en Afrique. WorldFish centre, Penang (Malaisie).11p, 2005.
- [21] T.k. Yao, M.S. Oga, O. Fouche, D. Baka, C. Pernelle, J. Biemi, Evaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical: cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 6, no. 6, pp. 7069-7089, 2012.
- [22] H.J. Zerbo, A. Ktenou, H. Sylla, W.F. Compaore, Enquête cadre sur la pêche artisanale continentale, MRAH, 92p, 2013.

Multi-factor authentication system for securing mobile money transactions using mobile money services in Ivory Coast

Nogbou Georges Anoh¹, Tiémoman Kone¹, Gokou Hervé Fabrice Diedie², and Michel Babri³

¹UFR Informatique et science du numérique, Université Virtuelle de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328, Korhogo, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de recherche en informatique, Institut National Polytechnique Felix Houphouet Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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: Mobile money is a financial service available on mobile phones. The evolution of mobile telephony in Africa, and particularly in Côte d'Ivoire, has led to the growing evolution of mobile money services. These services have revolutionized the lives of citizens who do not have access to or do not have a bank account. Thanks to the mobile money service, any citizen can now transfer, withdraw or save money and even make payments. However, with the digitalization of systems, users of these mobile money services suffer from cyberattacks thanks to the scale of social engineering. To slow down and fight against this evolution of cyberattacks. In this article, we propose a new multi-factor authentication system in the context of mobile money transactions unlike the two-factor authentication system. We have developed an authentication algorithm for transfers using a password, fingerprint or secret word and a secret code. For direct deposit, we have proposed a system that provides a withdrawal code to the issuer that the recipient must provide upon withdrawal. We also proposed an authentication algorithm for password changes based on the current password and a secret code to provide. These contributions will help curb deposits made by mistake, scams and theft of mobile phones with password theft.

KEYWORDS: mobile money service, authentication, transfer, deposit, password, fingerprint, secret word, secret code.

1 INTRODUCTION

The evolution of communication technologies and the adoption of mobile phones in Africa and particularly in Côte d'Ivoire, has favored the creation of mobile money services by banking and telecommunications operators. According to statistics provided by the Telecommunications Regulatory Authority in Côte d'Ivoire (ARTCI) for the first quarter of 2023 [1], the number of subscribers linked to mobile telephony is 50,130,099 including 23,203,174 mobile money subscribers with a national population estimated at 29,389,150 inhabitants, according to the final overall results of the General Population and Housing Census (RGPH 2021) [2]. However, the mobile internet market totals 26,789,366 mobile internet subscribers, which shows that the number of subscribers who have access to mobile applications for mobile money services is considerable and even significant. This proliferation of the mobile Internet has no consequences for Internet users of mobile financial services, although it has improved the level of populations without access to the banking financial system. Indeed, in a statement on December 21, 2021, the Director of IT and Technological Traces (DITT) in Côte d'Ivoire indicated that on average 4,500 to 5,000 complaints are recorded per year compared to 150 in 2011 [3]. Today, Ivory Coast is one of the countries most affected by cybercrime in West Africa. Cybercrimes are largely carried out by attacks linked to social engineering, namely the theft of personal information, phishing, Shoulder Surfing, Pretexting. To fight against cybercriminals with the numerous attacks, authentication solutions have been proposed in the literature. In Ivory Coast, in the context of online purchases, the authentication system used is the two (2) factor authentication system which is experiencing an increase in attacks. Two (2) factor authentication system threat models are classified into five categories [4] namely: (i) attacks against authentication, such as spoofing attacks, replay attacks, spoofing attacks, phishing attacks and Trojan horse attacks; social engineering attacks,

identity theft attacks, (ii) attacks on privacy; (iii) privacy attacks, such as eavesdropping attacks, brute force attacks, guessing attacks, and shoulder surfing attacks; (iv) attacks on integrity; (v) availability attacks, such as DoS and DDoS attacks, and cell phone theft.

In addition, to secure mobile money services, two categories of security system are proposed namely cryptographic functions (such as asymmetric encryption function, symmetric encryption function and hash function) and personal identification that we can subdivide into two categories: (i) authentication systems based on password, PIN code, OTP code, and QR code; (ii) countermeasures based on physiological biometrics through fingerprint recognition, face recognition, iris recognition and retina recognition, and behavioral biometrics through voice recognition. Authors in [5], through a statistical study showed that the use of better access controls such as multi-factor authentication (i.e. PIN, one-time password and biometric fingerprint), customer awareness campaigns and training of mobile money service agents are recommended by mobile money service users. Authors in [6] propose a multi-factor authentication algorithm for mobile money applications. The proposed authentication system uses a novel approach combining PIN, one-time password (OTP) and biometric fingerprint to enhance security during mobile money authentication. It also uses a biometric fingerprint and quick response (QR) code to confirm mobile money withdrawal. Given that in our developing countries, the large part of the population that has adopted mobile money services is predominantly illiterate, then with this approach a portion of mobile money users who do not have a mobile phone will not be able to access the mobile money service, which is not advantageous for mobile money service operators. In [7], the authors studied the different factors of authentication systems making it possible to authenticate a user and prove their identity to a service. The main goal of this work is to allow a network administrator to get an idea of all the different multi-factor authentication systems that can be leveraged to create an adequate user authentication strategy for their department. In this work [8], the authors proposed a new authentication method for online banking services. The proposed method does not take into account a user name or password. However, it uses a PIN code instead of the password. Before connecting, the information (MAC Address, SIM card number, International Mobile Identifier) concerning the mobile phone must be verified to authorize the transaction. With this method, if an attacker knows the PIN code and has the user's phone in their possession, they can conduct transactions as if they were the legitimate user. In [9], the authors propose a money transfer system between two employees of an SME. For this to be possible, users of the SME money transfer system must be registered using a number of parameters including a photo of the iris if this information is correct. The authentication factors that are taken into account to be able to transfer money to another user are the PIN of the sender, The recipient account and the iris of the sender. In this work [10], the authors implemented a two-factor authentication system: (i) PIN code verification. (ii) Generation of OTP on registered mobile number, in connection with transfer of funds from one bank account to another through ATM and ATM card. The problem this approach raises is what to do if an attacker knows the PIN and has the user's phone? In this study [11], the authors proposed a security model that allows tracking of mobile money account creation using the Transport Layer security (TLS) protocol to protect transactions between banks and mobile network operators and financial regulators. In this work [12], the authors present a fingerprint-based authentication system for transactions related to online banking service. The proposed system includes an enrollment phase which consists of recording the encrypted identifier of the mobile as well as the user's fingerprint at the server level. Then, a client verification phase is executed to enable a secure transaction. The question that arises is what happens if the user does not have an Android phone or loses their phone? For online banking services, the authors of [13] offer an authentication system based on PIN code, facial recognition and an OTP code to guarantee the security of transactions carried out by customers against phone theft and identity theft. A quantitative study was carried out based on an online questionnaire [14] in order to assess the acceptance of the use of fingerprint in the authentication system of Bahrain online banking services by users of these services and to identify them. In this work [15], the authors proposed a hybrid authentication model (HAM), using a combination of PIN and fingerprints for authentication for the use of mobile banking applications. In the implementation of the system, the customer, to carry out a transaction must provide his PIN and fingerprint in order to be able to carry out a transaction if necessary. In this work, five factors were defined in order to minimize the risks of identity theft: (i) access rights, (ii) securing the enrollment phase, (iii) encryption of transmitted data, (iv) certification of the cloud provider if applicable, (v) Effective control from registration to the storage or retrieval process. According to [16], biometric systems for online banking have several advantages because they provide increased security and reliability, they are simple and convenient, they save time, and they make identity fraud impossible. According to [17], new modes and types of fraud can be grouped according to users of mobile money services. The main frauds perpetrated against customers of mobile money services include: (i) identity theft, (ii) false promotions, (iii) agents who ask the customer for their personal identification number (PIN), (iv) theft of the identity of the service provider by fraudsters, (v) losses attributable to transfers made in error to the benefit of involuntary beneficiaries who refuse to remit the money received. In Ivory Coast, to transfer money via a mobile money application, you must first deposit money into your Mobile Money account through approved providers, then follow the following steps [18]: (i) Dial the operator's USSD code, (ii) Choose the code for the operation to be carried out, (iii) Enter the recipient's telephone number, (iv) Enter the amount you wish to transfer, (v) Choose the type of transfer, (vi) Enter your Mobile Money transaction PIN, (vii) Confirm the transfer, (viii)

Sender receives confirmation SMS. This transfer system does not protect the user against transfers made in error, against identity theft and mobile phone theft.

In Ivory Coast, mobile money transfer applications use a two-factor authentication system (PIN code and OTP). However, in the face of social engineering and the numerous attacks mentioned in the literature, a multi-factor authentication system must be proposed and implemented. Several authentication systems have been proposed in the literature (table 1), however, they are not adapted to the context of Côte d'Ivoire where the vast majority of users of mobile money services are illiterate. In addition to this, the fingerprint used in the authentication systems proposed in the literature is one of the best solutions, however, the fingerprint of a user may experience a modification linked to a bodily problem and therefore no longer be available. Under these conditions, it is more than necessary to propose a new authentication system for mobile money services in Ivory Coast.

Table 1. Comparison of systems from the literature

Authors	Year	Authentication factors
G. Ali et al.	2021	PIN code, one-time password (OTP), biometric fingerprint, quick response code (QR)
WA Hammood et al.	2021	PIN code, MAC address, SIM card number, International Mobile Identifier,
K. Sudharsan et al.	2019	PIN code, iris recognition
S. Rwiz et al.	2020	PIN code, one-time password (OTP)
S.Ali et al.	2022	Cryptographic protocol
MJ Zadeh et al.	2019	Fingerprint and cryptographic protocol
Z.Mirza et al.	2020	PIN code, facial recognition and an OTP code

2 PROPOSAL FOR A MULTI-FACTOR AUTHENTICATION SYSTEM

The Mobile Money service is a system that provides a mobile wallet that allows people who do not have a bank account to save, send, receive money and pay for expenses from a mobile phone. Mobile money services have many advantages because they allow populations who do not have access to bank accounts to have access to financial services, thus revolutionizing the daily lives of populations in developing countries.

2.1 SYSTEM FOR IDENTIFYING A MOBILE MONEY CUSTOMER

Identification involves recording personal information relating to a customer of a mobile telephone operator. In the identification system proposed in addition to information linked to the identity of customers (First and last name, photo), we have added a PIN code and a secret word of six (6) characters each, then the recording of the fingerprint as illustrated in Figure 1.

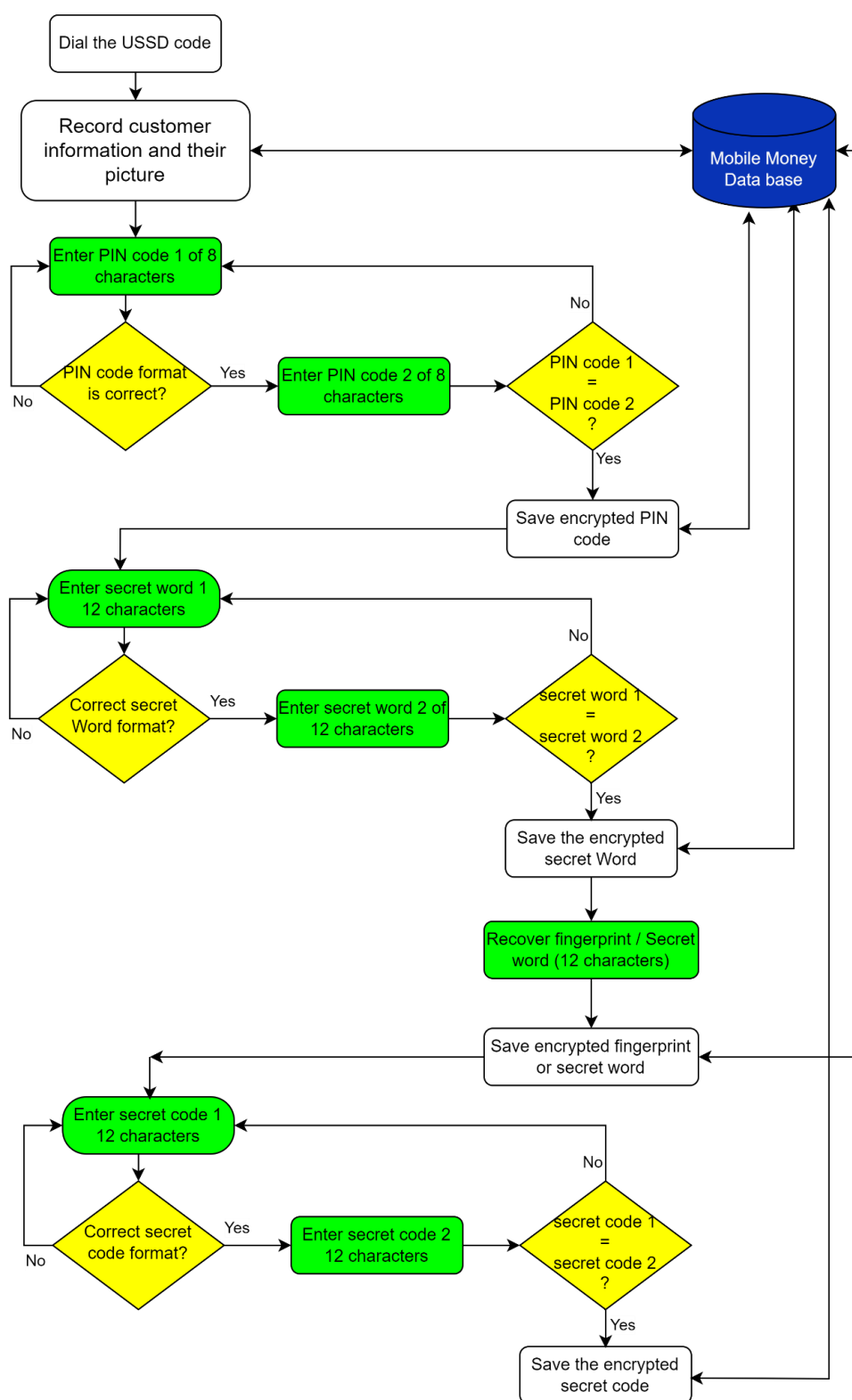


Fig. 1. Customer identification

When identifying a mobile money customer, the customer provides an identity document allowing all information about them to be recorded. After this step, the customer's photo is captured and all this information is recorded in the mobile money operator's database. Then, the customer enters his six (6) character password which is also recorded in the operator's database. Finally, the client enters a secret recovery word. All this information is encrypted and saved at the database level.

2.2 MONEY DEPOSIT SYSTEM

In the money deposit system offered via mobile money services, the sender receives a money withdrawal code which he must transfer to the recipient as illustrated in Figure 2.

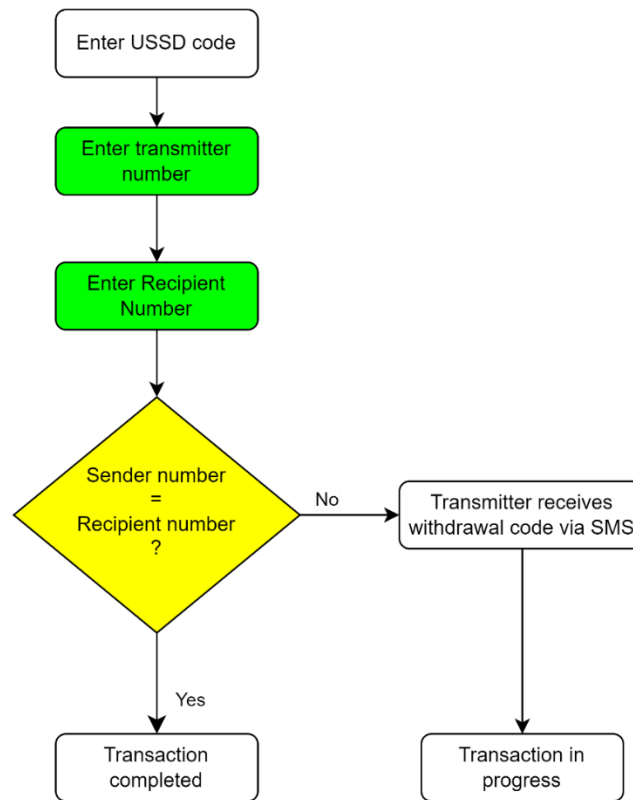


Fig. 2. Money deposit

Indeed, this system will make it possible to curb the actions of ill-intentioned people who pose as victims in order to defraud honest citizens. With this system, if the recipient has not received the withdrawal code, they cannot access the money. Suppose I made a deposit to a bad person and just after depositing I realize that I am facing an anarchy, I can block the process by confiscating the withdrawal code so that the process fails after a certain period.

2.3 MONEY WITHDRAWAL SYSTEM

In the process of withdrawing money, we verify the identity of the person who came to make the withdrawal in order to curb those who steal mobile phones and who have knowledge of the PIN code of official holder of the phone. In this action, the customer identity verification is verified by the service provider and the withdrawal transaction is authorized if the customer identity is the same with that of the number on which the money will be withdrawn as shown in the figure 3.

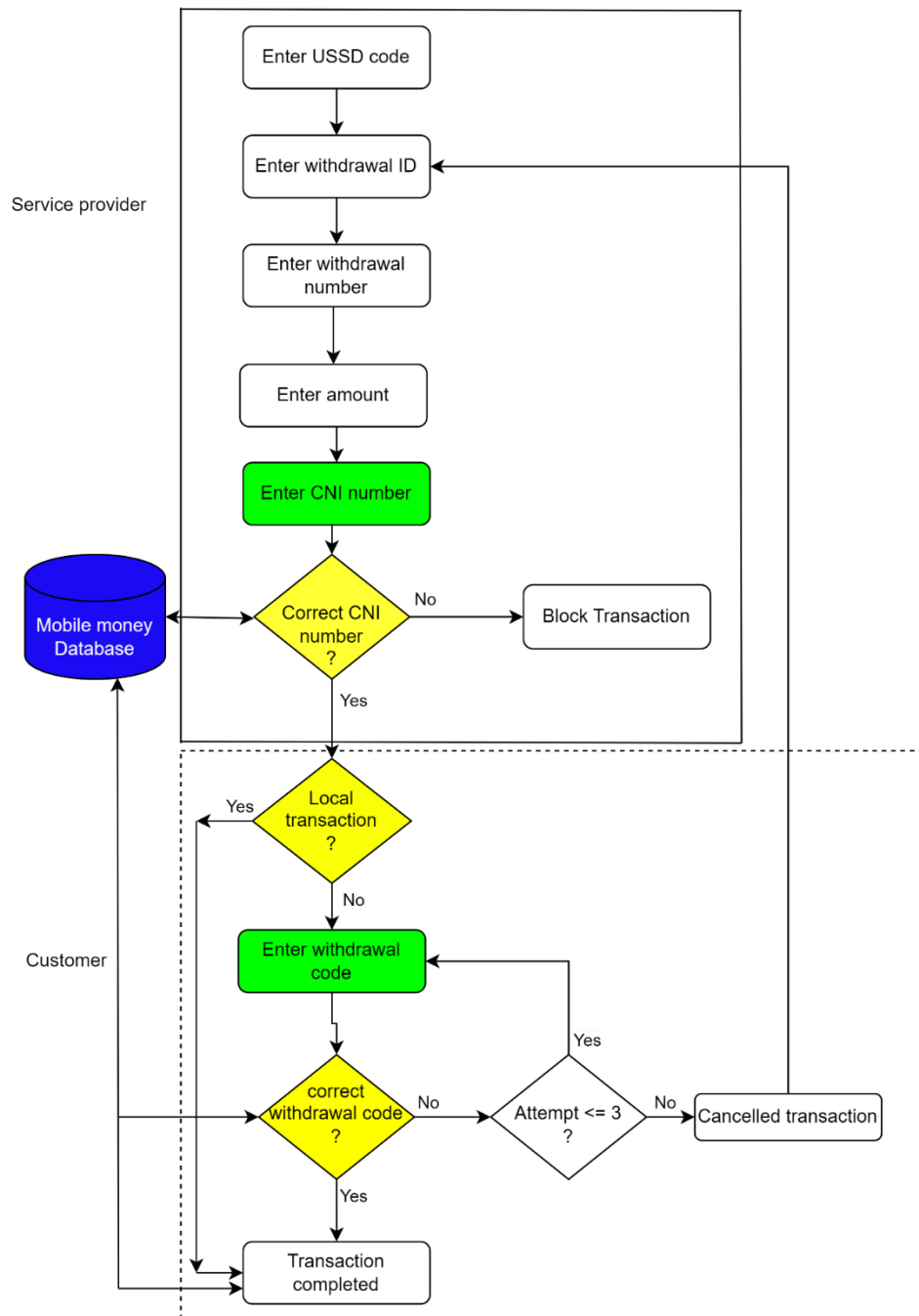


Fig. 3. Withdrawal

2.4 CHANGE PASSWORD

In the current system, a malicious person can change the password or PIN code of a mobile money account if he or she has possession of the user's mobile phone and its PIN code. To avoid these situations, we proposed a new password modification system which takes into account another authentication parameter authorizing password change as presented in Figure 4.

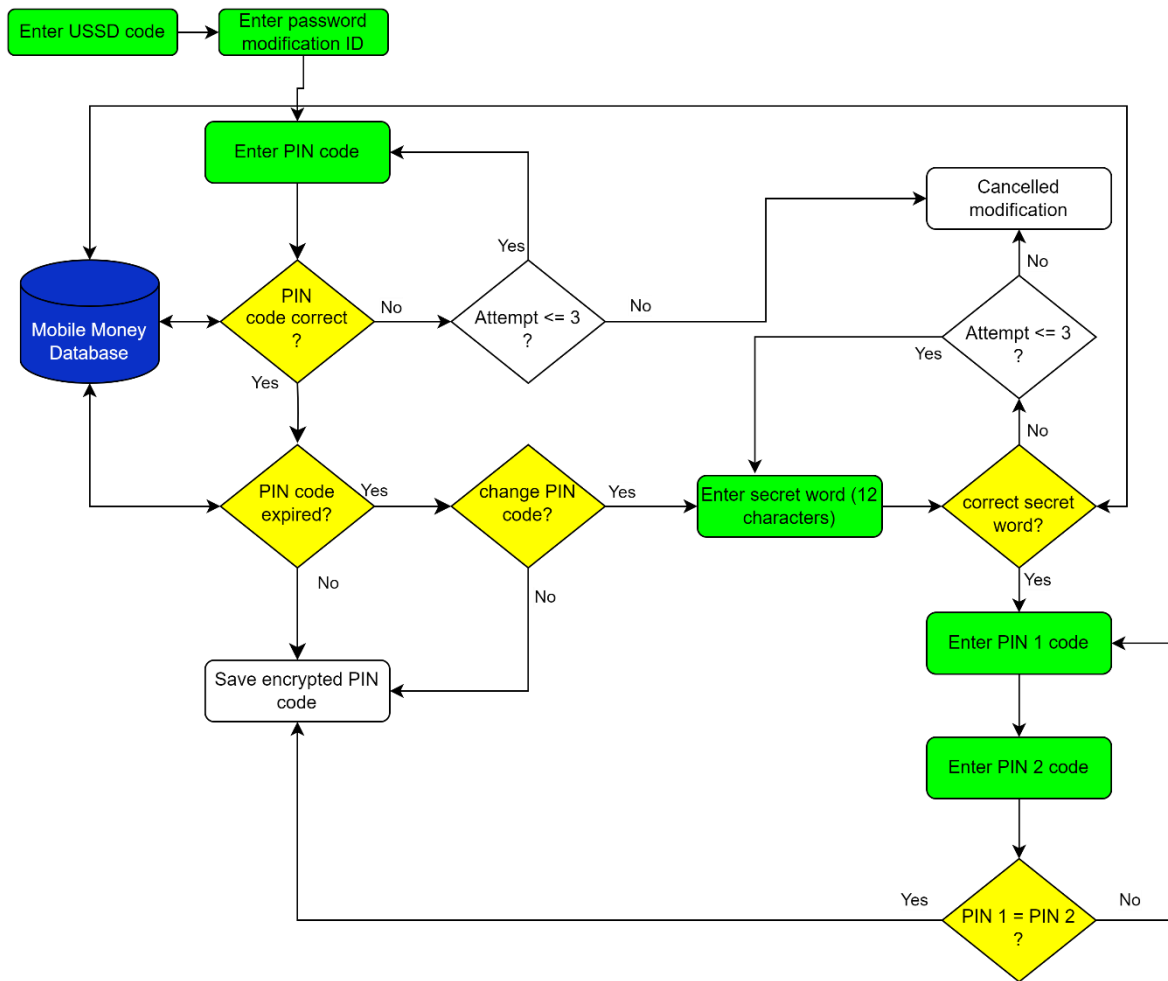


Fig. 4. Password modification

2.5 MONEY TRANSFER SYSTEM VIA MOBILE MONEY SERVICES

The money transfer operation via mobile money services is a service that allows you to send and receive money. In Ivory Coast, the system in place uses a password authentication system. With this system, all it takes is for a malicious person to have the mobile phone and knowing its PIN code, they can transfer money to another account. To curb these types of transactions, we proposed a new multi-factor authentication system that takes into account the PIN code, the fingerprint and a secret code as illustrated in Figure 5.

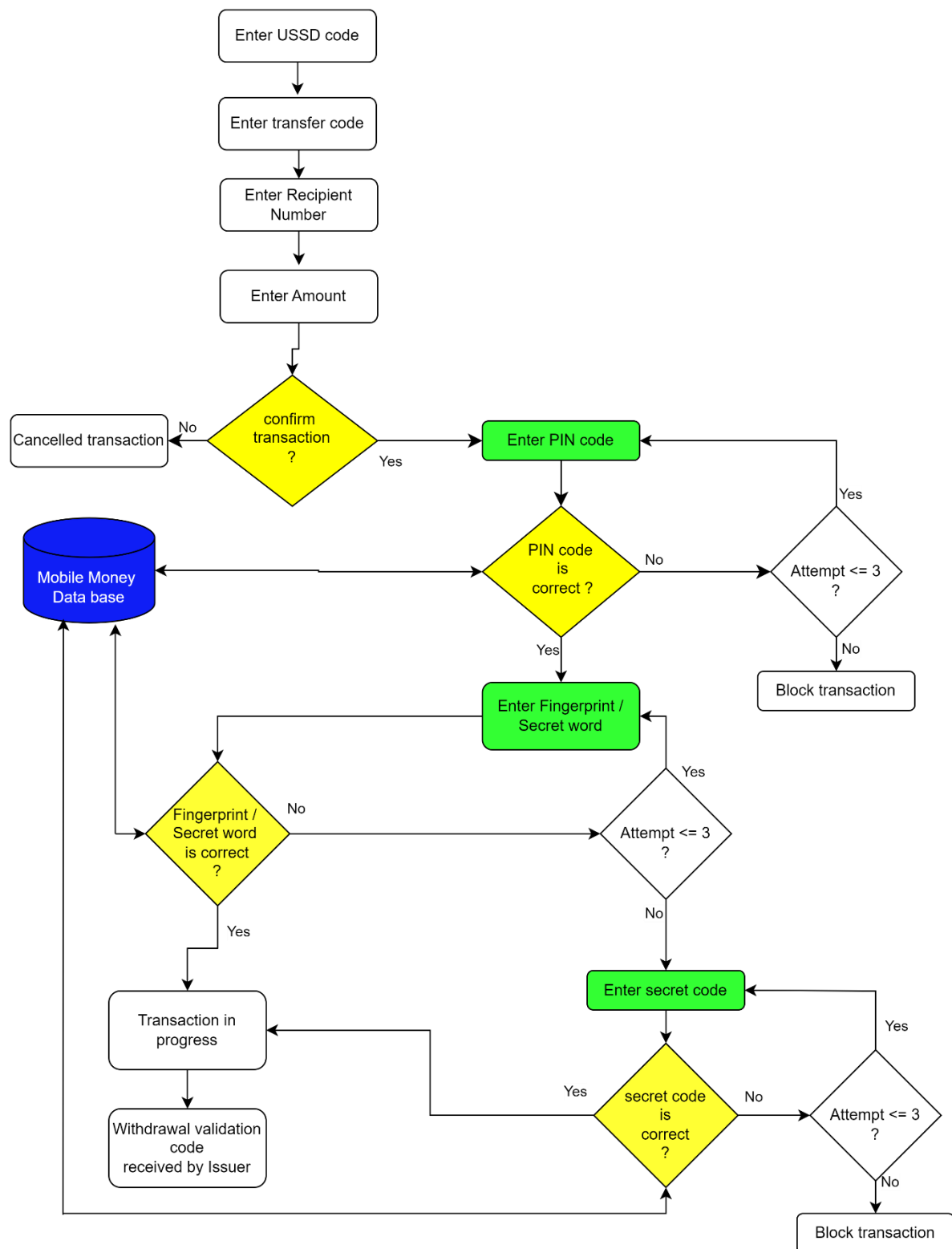


Fig. 5. Money transfer authentication system

3 ANALYSIS OF PROPOSALS

In Ivory Coast, the current identification system is limited to information linked to the identity of the customer with a password or secret code composed of four (4) digits without fingerprints. In our contribution, we propose to integrate the consideration of the fingerprint, a secret word of twelve (12) characters with a secret code of at least twelve (12) characters.

Concerning the deposit system, we proposed a solution which makes it possible to slow down deposits made in error by integrating a withdrawal code that the issuer must transmit to the recipient before the latter receives the amount deposited. This deposit system will also help curb anarchists because an issuer can refuse to transfer the withdrawal code to the recipient if he realizes that the latter is a scammer after he has made the deposit.

Our current mobile money system allows the customer to change their password. However, an attacker, if he manages to steal the client's password, has the possibility of modifying the password of the legitimate client. In our proposal, to slow down this, the client is asked for a secret code in addition to the password in order to be able to change the password.

As part of the money transfer, in addition to the password which is requested during the transaction, we have offered to provide the fingerprint or the secret word of twelve (12) characters depending on the type of mobile of the customer and allow the sender to receive a withdrawal code to provide to the recipient. This contribution makes it possible to slow down illegitimate transactions carried out by attackers who know the password of the customer's password and have possession of their mobile phone.

4 CONCLUSION

In this study, we reviewed the authentication systems proposed in the literature in the context of mobile money services. We analyzed the different authentication factors adopted in relation to what is done in Côte d'Ivoire and we proposed a new authentication system for mobile money services. Our contributions take into account the customer's mobile phone type (Android or not) and several authentication factors. We have developed an authentication algorithm for transfers using a password, fingerprint or secret word and a secret code. For direct deposit, we have proposed a system that provides a withdrawal code to the issuer that the recipient must provide upon withdrawal. We also proposed an authentication algorithm for password changes based on the current password and a secret code to provide. In our future work, we will propose a mobile money application based on this authentication system in order to propose it to the authorities in order to help them make better decisions in the context of mobile money services.

REFERENCES

- [1] Telecommunications/ICT Regulatory Authority of Côte d'Ivoire, «SUMMARY OF KEY INDICATORS OF THE IVORIAN TELECOMMUNICATIONS MARKET IN THE 1st QUARTER 2023», *Key market indicators*. <https://www.artci.ci/index.php/marches-regules/observatoire-telecoms/statistiques-du-marche-telecoms/entreprises-cles.html> (accessed August 26, 2023).
- [2] Minister of Planning and Development, «FINITIVE OVERALL RESULTS OF RGP 2021: THE POPULATION USUALLY LIVING IN THE IVORY TERRITORY IS 29,389,150 INHABITANTS», *CI GOVERNMENT*. https://www.gouv.ci/_actualite-article.php?recordID=13769 (accessed August 26, 2023).
- [3] CIG, «CYBERCRIME: THE PLATFORM TO FIGHT AGAINST CYBERCRIME HANDLES AN AVERAGE OF 4,500 TO 5,000 COMPLAINTS PER YEAR», *CI GOVERNMENT*. http://www.gouv.ci/_actualite-article.php?recordID=12960 (accessed August 26, 2023).
- [4] G. Ali, M. Ally Dida, and A. Elikana Sam, «Two-Factor Authentication Scheme for Mobile Money: A Review of Threat Models and Countermeasures», *Future Internet*, flight. 12, no. 10, p. 160, Sep. 2020, doi: 10.3390/fi12100160.
- [5] G. Ali, M. Ally Dida, and A. Elikana Sam, «Evaluation of Key Security Issues Associated with Mobile Money Systems in Uganda», *Information*, flight. 11, no. 6, p. 309, June 2020, doi: 10.3390/info11060309.
- [6] G. Ali, MA Dida, and A. Elikana Sam, «A Secure and Efficient Multi-Factor Authentication Algorithm for Mobile Money Applications», *Future Internet*, flight. 13, no. 12, p. 299, Nov. 2021, doi: 10.3390/fi13120299.
- [7] AAS AlQahtani, Z. El-Awadi, and M. Min, «A survey on user authentication factors», in *2021 IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, IEEE, 2021, p. 0323-0328.
- [8] WA Hammood, RA Arshah, SM Asmara, and OA Hammood, «User Authentication Model based on Mobile Phone IMEI Number: A Proposed Method Application for Online Banking System», in *2021 International Conference on Software Engineering & Computer Systems and 4th International Conference on Computational Science and Information Management (ICSECS-ICOCSIM)*, IEEE, 2021, p. 411-416.

- [9] I. Islam, KM Munim, MN Islam, and MM Karim, «A proposed secure mobile money transfer system for SME in Bangladesh: An industry 4.0 perspective,» in *2019 International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, IEEE, 2019, p. 1-6.
- [10] K. Sudharsan, VA Kumar, R. Venkatesan, V. Sathyapreiya, and G. Saranya, «Two three step authentication in ATM machine to transfer money and for voting application,» *Procedia Computer Science*, flight. 165, p. 300-306, 2019.
- [11] S. Rwiza, M. Kissaka, and K. Kapis, «Security Model for Tracking Creation of Mobile Money Using Transport Layer Security Protocol,» *Tanzania Journal of Science*, flight. 46, no. 3, p. 791-806, 2020.
- [12] S. Ali, «Analyzing Mobile Banking Security using Biometric Authentication.» Rochester, NY, April 28, 2022. doi: 10.2139/ssrn.4096398.
- [13] MJ Zadeh and H. Barati, «Security Improvement in Mobile Banking Using Hybrid Authentication», in *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Advances in Artificial Intelligence*, Istanbul Turkey: ACM, Oct. 2019, p. 198-201. doi: 10.1145/3369114.3369151.
- [14] Z. Mirza, E. Alsalem, F. Mohsin, and WM Elmedany, «Users' Acceptance of Using Biometric Authentication System for Bahrain Mobile Banking,» *KnE Engineering*, p. 102-121, Oct. 2018, doi: 10.18502/keg.v3i7.3075.
- [15] A. Adeniyi, «Factors to Consider to Minimize Identity Theft in Mobile Banking,» *SACA JOURNAL*, flight. 5, p. 1-5, 2017.
- [16] K. NAZAR, «Role of biometric authentication in the security of mobile banking applications | Inoxoft», *Inoxoft Blog*, March 28, 2023. <https://inoxoft.com/blog/role-of-biometric-authentication-in-mobile-banking-app-security-benefits-features-risks/> (accessed August 28, 2023).
- [17] WB Mercy and R. Mazer, «Mobile Financial Services: Protecting Customers, Providers, and the System from Fraud,» *www.cgap.org*, 2017.
chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/
<https://www.cgap.org/sites/default/files/Brief-Fraud-in-Mobile-Financial-Services-April-2017-French.pdf>
- [18] «Open a Moov Money account», *MOOV AFRICA IVORY COAST*.
<https://www.moov-africa.ci/moov-money/ouvert-un-compte-moov-money/> (accessed September 1, 2023).

Capteur électrochimique à base de pâte de carbone modifiée par le phyllanthus amarus pour la détection d'un perturbateur du taux de spermatozoïde « l'acide perfluorooctane »

[Electrochemical sensor based on carbon paste modified by phyllanthus amarus for the detection of a perfluorooctane acid disruptor of the spermatozoid rate]

Bernadette EHUI AVO BILE¹, Koffi Jules N'DA¹, Olivier François Aristide Bertrand KOFFI¹, Sakina TOUZARA², Abdelilah CHTAINI², Teadouanka Luciano LOUA¹, and De Serifou MATYLA¹

¹Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Cocody, Côte d'Ivoire

²Équipe d'Electrochimie Moléculaire et Matériaux Inorganiques, Faculté des Sciences et Technologies de Beni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane, Morocco

Copyright © 2024 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: Population exposure to perfluorinated compounds is less well known. These products are found in a myriad of products ranging from food packaging to flame retardant foams, household cleaners and shampoos. Perfluorinated compounds such as perfluorooctanoic acid (PFOA) and other fluorinated compounds constitute pollutants for our living environment. At tiny doses, they are suspected of increasing the risk of fertility disorders or even infertility, reduction in the quantity and quality of sperm, and genetic abnormalities.

The development of electrochemical sensors for the immediate detection of these compounds is therefore necessary to prevent any risk of contamination that could lead to irreparable damage.

This work involved the development of an electrochemical sensor capable of detecting perfluorooctanoic acid at low concentrations. To do this, a carbon paste electrode modified by phyllanthus amarus was developed. This was characterized by electrochemical methods in the presence of perfluorooctanoic acid (PFOA). The electrochemical methods used are cyclic voltammetry and square wave voltammetry. Certain electrochemical parameters such as the influence of the PFOA concentration, the detection limit, the influence of pH, were studied.

KEYWORDS: Synthesis, Modified electrode, SWV, CV, perfluorooctanoic acid, electrochemical sensor, phyllanthus amarus.

RESUME: L'exposition des populations aux composés perfluorés est moins bien connue. Ces produits sont présents dans une myriade de produits allant des emballages alimentaires aux mousses ignifuges, nettoyeurs ménagers et shampoings. Les composés perfluorés tels que l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et d'autres composés fluorés constituent des polluants pour notre milieu de vie. A des doses infimes, ils sont soupçonnés d'augmenter le risque de trouble de la fertilité voire l'infertilité, la diminution de la quantité et de la qualité des spermatozoïdes, des anomalies génétiques.

L'élaboration de capteurs électrochimiques pour la détection immédiate de ces composés s'avère donc nécessaire pour prévenir tout risque de contamination pouvant entraîner l'irréparable.

Dans ce travail, il s'est agi de l'élaboration d'un capteur électrochimique capable de détecter l'acide perfluorooctanoïque, à de faibles concentrations. Pour ce faire, une électrode à pâte de carbone modifiée par le phyllanthus amarus a été élaborée. Celle-ci a été caractérisée par des méthodes électrochimiques en présence de l'acide perfluorooctanoïque (PFOA). Les méthodes électrochimiques utilisées sont la voltammétrie cyclique et la voltammétrie à ondes carrées. Certains paramètres électrochimiques comme l'influence de la concentration du PFOA, la limite de détection, l'influence du pH, ont été étudiés.

MOTS-CLEFS: Synthèse, Electrode modifiée, SWV, VC, l'acide perfluorooctanoïque, capteur électrochimique, phyllanthus amarus.

1 INTRODUCTION

Dans notre vie quotidienne, nous sommes exposés, par le biais de nombreux produits de consommation et d'équipement, à une grande variété de substances chimiques. Même à de faibles doses, certaines de ces substances peuvent agir sur le système hormonal de notre corps [1]. Il s'agit des perturbateurs endocriniens (PE). Parmi ces perturbateurs endocriniens, figurent les composés perfluorés tels que le sulfonate de perfluorooctanoïque (PFOS), l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) [2] et d'autres composés fluorés dont leur présence constitue une classe importante de polluants persistants dans notre environnement [3].

Les composés perfluorés ont des effets néfastes sur la santé humaine car certaines études scientifiques ont démontré un lien entre les perturbateurs endocriniens et certaines maladies. A des doses infimes, les PE sont soupçonnés d'augmenter le risque de trouble de la fertilité voire l'infertilité, la diminution de la quantité et de la qualité des spermatozoïdes, des anomalies génétiques [4].

En effet, l'on a constaté une baisse de la qualité de spermatozoïdes chez les hommes les plus imprégnés en PFOA et PFOS [5]. Ces composés sont impliqués dans la baisse progressive de la fertilité masculine observée dans plusieurs régions industrialisées [6].

Il est donc important de développer des méthodes d'analyse capable de détecter de façon immédiate ces substances nocives pour l'homme. L'objectif de ce travail est de mettre au point un capteur électrochimique susceptible de détecter le PFOA. Pour ce faire, la surface de notre capteur a été modifiée par une plante, le phyllanthus amarus afin d'améliorer son électroactivité en présence du PFOA. Les méthodes électrochimiques utilisées dans cette étude sont la voltammétrie cyclique et la voltammétrie à ondes carrées.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 RÉACTIFS ET SOLUTIONS

Le produit chimique utilisé pour élaborer nos électrodes de travail est la poudre de carbone graphite. Elle a été obtenue auprès de SIGMA-ALDRICH.

L'eau distillée a été utilisée pour préparer toutes les solutions.

Le phyllanthus amarus, une espèce de la famille des Euphorbiacées est une plante dont plusieurs de ces organes sont récoltés dans l'environnement naturel et utilisés à des fins agricole, médicinal et alimentaire [7-8]. Cette plante a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche dans la sous-région pour sa valorisation à usages alimentaires et médicinales [9-10]. Elle contient des molécules qui ont des propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires, antidiabétiques, antivirales et anticancéreuses et a l'avantage d'être un composé biodisponible [11]. Au vu de ces multiples avantages, le phyllanthus amarus a été utilisé comme modificateur de nos électrodes. La figure 1 montre les feuilles du phyllanthus amarus.



Fig. 1. Le phyllanthus amarus

L'électrolyte support utilisé est le sulfate de sodium de formule Na_2SO_4 à 0,1M avec une pureté de 99% et une masse molaire de 142,04 g/mol. Ce produit a été obtenu auprès de PROLABO.

L'acide perfluorooctanoïque, produit faisant l'objet de notre étude, a pour formule $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COOH}$ et se caractérise par une pureté de 95%, avec une masse molaire de 414,07 g/mol. Il a été obtenu auprès de SIGMA ALDRICH.

2.2 INSTRUMENT

Les techniques électrochimiques de la voltamétrie cyclique (VC) et la voltamétrie à ondes carrées (SWV) ont été réalisées à l'aide d'un potentiostat MiniEC2 type plug and play. Cet équipement a été fourni par « information sciences département de East China University of Science and Technology (Shanghai, chine) ». Il est commandé par un logiciel (Dorado 2019) permettant une acquisition des données. Dans cette étude, on a utilisé une cellule électrochimique à trois électrodes pour les mesures voltamétriques. Les trois électrodes de la cellule sont l'électrode de travail, la contre électrode et l'électrode de référence. L'électrode de référence est une électrode au calomel saturé. La contre-électrode est une électrode de fil de platine et l'électrode de travail est l'électrode à pâte de carbone modifiée par le phyllanthus amarus (EPC/Phyl). L'électrode de référence est mise dans un luggin capillaire dont l'extrémité est placée très proche de l'électrode de travail afin de réduire la chute ohmique [12].

2.3 ELECTRODE DE TRAVAIL

Notre électrode de travail a été fabriquée à partir d'une tige en graphite extraite des piles Daniell de 1.5 V et un corps d'électrode (résine isolante) contenant une cavité d'une surface de 0,1256 cm². La poudre de phyllanthus a été ajoutée à la poudre de carbone graphite selon la proportion suivante, 0,95 g de poudre de carbone pour 0,05 g de poudre de phyllanthus amarus. La pâte obtenue à partir du mélange est utilisée pour remplir la cavité du support. La tige en graphite assure le contact électrique avec la pâte. L'électrode fabriquée est ensuite rincée à l'eau distillée, nettoyée et dégraissée à l'acétone avant d'être conservée à la température ambiante dans la salle avec soin pendant 24 heures. Ensuite, un papier lisse (papier filtre) est utilisé pour polir la surface de l'électrode avant chaque usage. L'électrode obtenue est une électrode à pâte de carbone modifiée par le phyllanthus.

2.4 PROCÉDURE ANALYTIQUE

L'électrode à pâte de carbone a été modifiée par le phyllanthus amarus à différents pourcentages massiques et caractérisée en présence du PFOA afin d'identifier la quantité de phyllanthus amarus susceptible de détecter le PFOA. L'électrode modifiée par le phyllanthus amarus a été caractérisée électrochimiquement dans Na₂SO₄ à 0,1M en absence et en présence du PFOA à une concentration de 0,0603mM. L'électrode de travail a ensuite été caractérisée dans les mêmes conditions à différentes concentrations du PFOA. L'influence de la concentration du PFOA a été étudiée comme paramètre pour exprimer la variation de la densité de courant en fonction de la concentration du PFOA. Cette variation nous permettrait donc de calculer la limite de détection (LD) qui traduit la plus petite quantité de PFOA que notre électrode de travail est capable de détecter.

La limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) ont été calculées en utilisant les formules issues des travaux de Miller et Miller [13]. Dans ces travaux, il a été montré que la déviation standard du courant moyen (SD) mesuré lors de la mesure voltamétrique peut être déterminée par l'équation (1). A partir de SD, la limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) peuvent être respectivement calculées à partir des équations (2) et (3).

$$SD = \frac{1}{(n-2)} \sum_{j=1}^n (i_j - I_j)^2 \quad (1)$$

$$LD = 3 \times \frac{SD}{Pente} \quad (2)$$

$$LQ = 10 \times \frac{SD}{Pente} \quad (3)$$

Où i_j est la valeur expérimentale du courant identifié à la manipulation I et I_j est la valeur correspondante calculée à la même concentration en utilisant l'équation de calibration: n est le nombre de mesure effectué; « Pente » est la pente de l'équation de calibration.

Une étude de l'influence de pH a été faite pour identifier le milieu dans lequel le capteur électrochimique élaboré serait efficace. Ainsi, toujours en présence du PFOA, notre capteur a été caractérisé dans différents milieux, à savoir le milieu acide, neutre et basique.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 CHOIX DE LA QUANTITÉ DU MODIFICATEUR

Afin de déterminer la quantité optimale du phyllanthus amarus pour la modification de la surface de notre électrode, nous avons fait varier la quantité de phyllanthus. La pâte de carbone a été modifiée par la poudre de phyllanthus à différents pourcentages. Les pourcentages sont 1, 3, 5, 7 et 10%. Les électrodes obtenues ont été caractérisées dans la solution électrolytique contenant 0,0603mM de PFOA. La figure 2 montre les différents voltammogrammes cycliques enregistrés pour chaque quantité de modificateur.

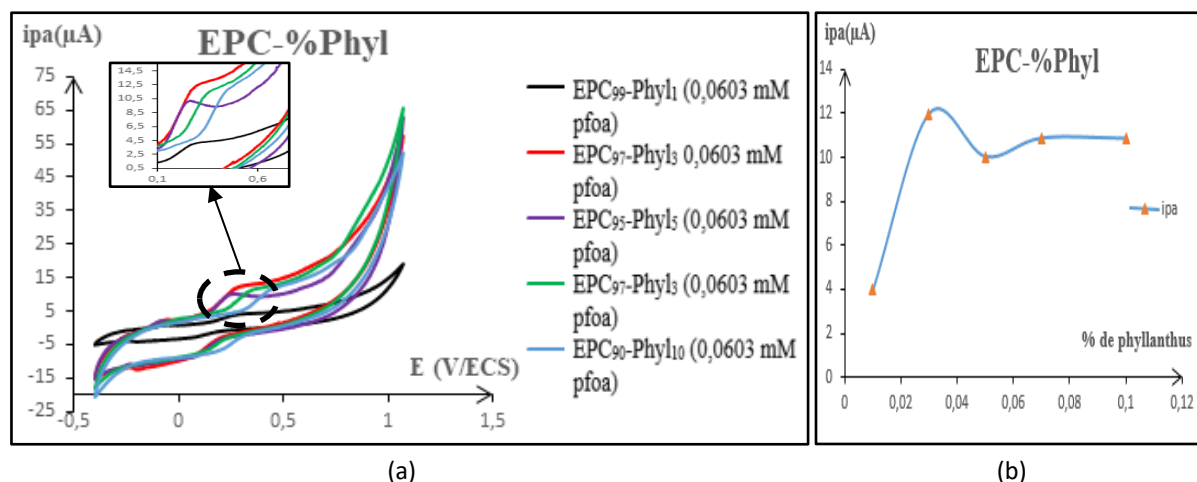


Fig. 2. Superposition des voltammogrammes au cours de la variation du modificateur dans la poudre du carbone en présence de pfoa: (a) : % de phyllanthus amarus, (b) : $i_{pa} = f(c)$, dans Na_2SO_4 à 0,1M, $v = 100$ mV/s, CE : Pt enroulé, ER : ECS, $T=25^\circ C$.

L'exploitation des densités de courant i_{pa} a permis de tracer la courbe de la figure 2b. L'ajout de 1, 2 et 3% de phyllanthus amarus dans le carbone entraîne une hausse de la densité de courant et atteint un maximum de 11,965 μA à 3%. Au-delà des 3%, la densité du courant diminue. On pourrait alors dire que la résistance de l'électrode augmenterait du fait de la nature organique du phyllanthus amarus comme l'a montré Mohammad H. G. et al [14]. De ce fait, l'électrode à pâte de carbone modifiée à 3% de phyllanthus amarus sera retenue comme électrode de travail, noté EPC₉₇-Phyl₃.

La figure 3 montre les voltammogrammes cycliques de l'électrode non modifiée (EPC mère) et l'électrode modifiée (EPC₉₇-Phyl₃). On note une augmentation de la densité, ce qui traduit que la surface de notre électrode a été bien modifiée.

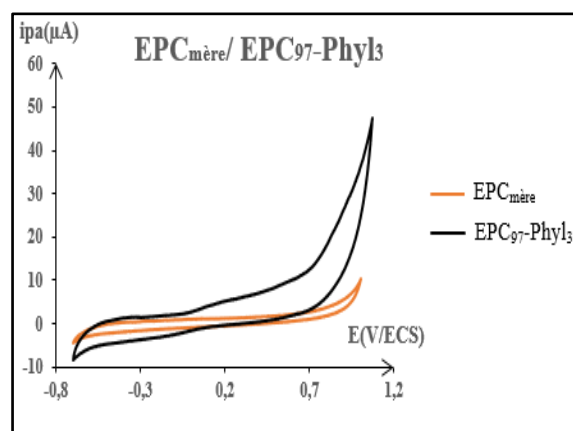


Fig. 3. Superposition des voltammogrammes cycliques de EPC mère et EPC₉₇-Phyl₃ dans Na_2SO_4 à 0,1 M; $v = 100$ mV/s, de -2V à 2V; pH = 2,42

Les surfaces de l'électrode avant et après modification ont été photographiées à l'aide un microscope optique LEICA EZ4HD piloté par un logiciel LAS EZ (figure 4)

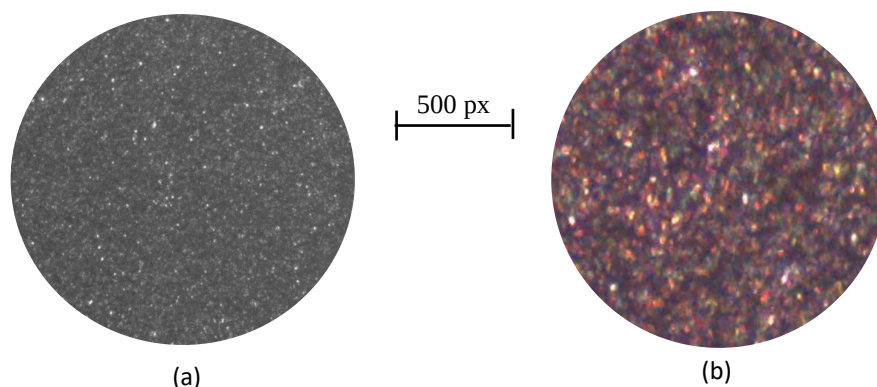


Fig. 4. Microscopie optique (grossissement 10/0.25)
(a) Electrode à pâte de carbone avant modification ($EPC_{mère}$)
(b) après modification par le phyllanthus ($EPC_{97-Phyl3}$)

La figure 4 montre que la modification de la surface de l'électrode à pâte de carbone par le phyllanthus se traduit par l'apparition d'une coloration rouge violacée répartie sur toute la surface de l'électrode.

3.2 INFLUENCE DE LA VARIATION DE LA CONCENTRATION DU PFOA

Ce capteur ($EPC_{97-Phyl3}$) a fait l'objet d'une caractérisation électrochimique par la voltammétrie cyclique (figure 5) et la voltammétrie à ondes carrées (figure 6) en présence de PFOA. Cette étude a été réalisée en vue d'étudier l'influence de la variation de la concentration du PFOA sur l'électrode.

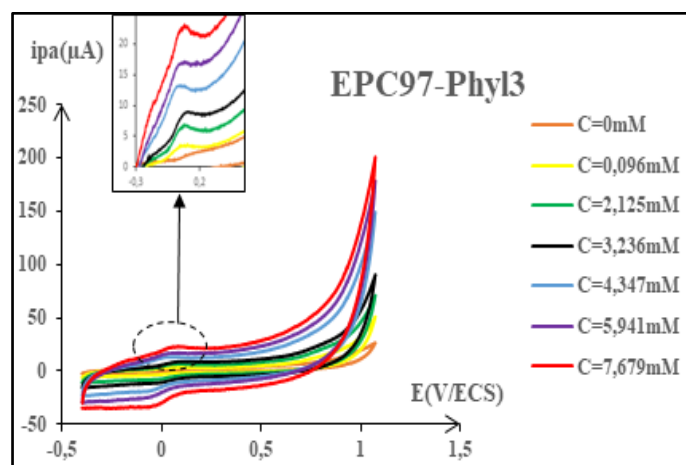


Fig. 5. Voltammogrammes cycliques de $EPC_{97-Phyl3}$ à blanc et en présence du PFOA à différentes concentrations dans Na_2SO_4 à 0,1 M

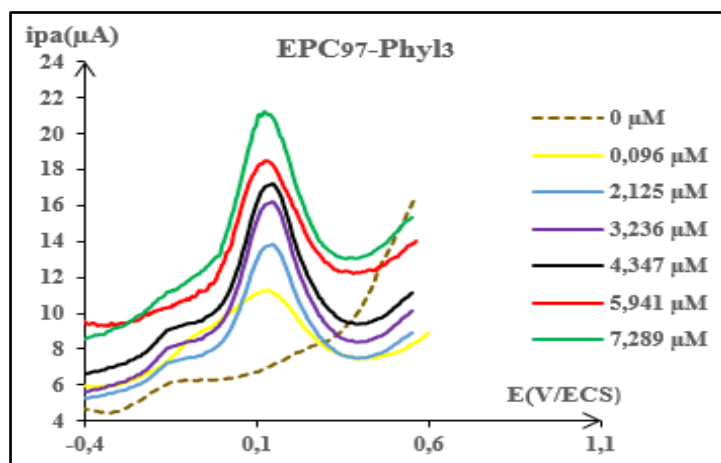
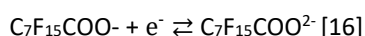
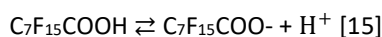


Fig. 6. Voltammogrammes à ondes carrées de EPC₉₇-Phyl₃ à blanc et en présence du PFOA à différentes concentrations dans Na₂SO₄. $\nu = 100 \text{ mV/s}$, $\text{pH} = 2,4$; pas de pot. (E_p) = 5 mV ; $f = 25 \text{ Hz}$; $A_m = 50 \text{ mV}$

Le pic observé en balayage aller et retour pour chaque voltammogramme cyclique évolue en fonction de la quantité du PFOA présente dans le milieu analytique. Dans la plage de potentiel comprise entre $-0,401 \text{ V/ECS}$ et $1,110 \text{ V/ECS}$, du cycle allé, on constate une augmentation des pics de courant de façon linéaire allant de $4,0021 \mu\text{A}$ à $70,1577 \mu\text{A}$ pour des concentrations de 0,096; 2,125; 3,236; 4,347; 5,941 et 7,289 mM de PFOA ajoutées. Ces pics du courant observés au processus d'oxydation s'identifient aux ions $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^-$ selon l'équation d'ionisation de l'acide perfluorooctanoïque ($\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COOH}$): $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COOH} \rightleftharpoons \text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^- + \text{H}^+$ [15].

Les densités de courants des pics d'oxydation et de réduction sur les voltammogrammes évoluent dans le même sens que l'augmentation de PFOA. Pour le cycle de réduction, les pics correspondant à la présence du PFOA sont caractérisés par les ions $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^{2-}$ selon l'oxydoréduction suivante: $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^- + e^- \rightleftharpoons \text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^{2-}$ [16]. On observe ce phénomène entre les potentiels $0,135 \text{ V/ECS}$ et $-0,207 \text{ V/ECS}$. Ces processus sont contrôlés par la diffusion [15] entre l'électrolyte et l'interface de l'électrode par la succession des pics observés selon le processus rédox suivant:



Les courbes des courants de la vague d'oxydation et du pic de réduction construites en fonction de la concentration en ion $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^-$ et ion $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COO}^{2-}$ donnent des droites (figure 7).

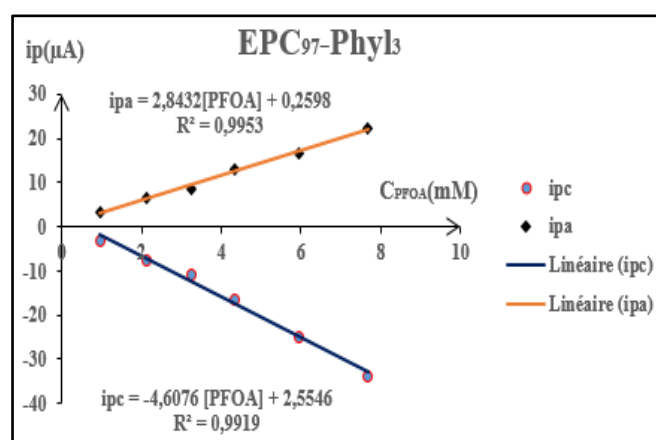


Fig. 7. Courbes de tendances des courants de pics anodique et cathodique en fonction de la concentration du PFOA sur EPC₉₇-Phyl₃

La proportionnalité entre le courant d'oxydation et la concentration en ion $C_7F_{15}COO^-$ montre que ce sont ces ions qui sont responsables de l'augmentation rapide des pics de courant observés sur la surface active de l'électrode. Dans le sens retour, la proportionnalité entre l'intensité des pics de réduction et la concentration des ions $C_7F_{15}COO^{2-}$ est aussi observée de façon linéaire.

En appliquant les formules de Miller et Miller [13], notre électrode se caractérise par une limite de détection de $0,40 \cdot 10^{-6}$ mol/L et une limite de quantification de $1,30 \cdot 10^{-5}$ mol/L.

Cette limite de détection est meilleure comparée à celles obtenues par Chen et al. [17] et Lee et al. [18] qui sont respectivement de 1 mg/L et 0,11 mg/L.

3.3 INFLUENCE DU PH

L'effet du pH a été étudié sur le comportement électrochimique de $EPC_{97}-Phyl_3$ en présence de l'acide perfluorooctanoïque (figure 8). Les pH varient entre 1,60 et 10,38. Cette étude a été réalisée en vue d'identifier le milieu dans lequel le capteur élaboré serait efficace.

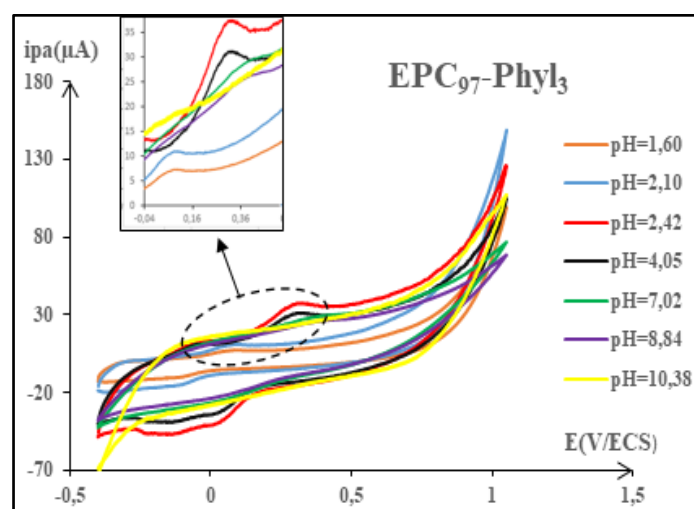


Fig. 8. Courbes voltamétriques de $EPC_{97}-Phyl_3$ en présence de 0,019 mM de PFOA à différentes valeurs de pH dans Na_2SO_4 , $v = 100$ mV/s

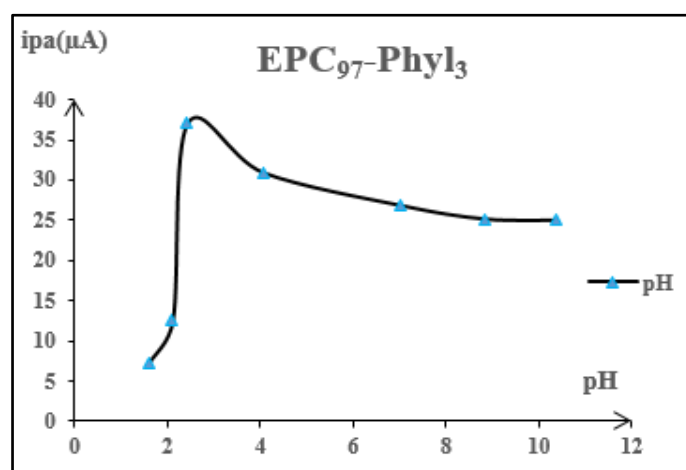


Fig. 9. Evolution du pic en oxydation en fonction du pH

La figure 9 montre que le maximum de la densité de courant au cours du balayage aller sur chaque voltamogramme a été atteint pour le pH = 2,42. Au-delà de cette valeur, on assiste à une diminution progressive de la densité de courant pour le pH

tendant vers les valeurs plus élevées. Ceci pourrait s'expliquer par la pénétration des ions OH^- dans la composition de l'électrode dont leur effet pourrait diminuer la quantité de matériau électroactif de l'électrode constituée.

4 CONCLUSION

Cette étude réalisée permet de conclure que le capteur électrochimique élaboré à partir d'une électrode à pâte de carbone modifiée par le phyllanthus amarus ($\text{EPC}_{97}\text{-Phyl}_3$) est extrêmement sensible au PFOA avec une limite de détection de $0,40 \cdot 10^{-6}$ mol/L et une limite de quantification de $1,30 \cdot 10^{-5}$ mol/L. Ce capteur électrochimique est efficace seulement en milieu acide.

En perspective, nous comptons faire une application analytique de cette électrode dans le jus de tomate. Cette application analytique va consister à ajouter le PFOA à différentes concentrations dans le jus de tomate préparé et faire la caractérisation électrochimique de l'électrode. Ceci a pour objectif de tester la capacité de notre électrode à détecter le PFOA dans un aliment. Nous envisageons aussi améliorer la limite de détection de ce capteur en utilisant un autre modificateur tel que l'argile.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Directeur du Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière de l'Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, le Professeur OUATTARA Lassiné, pour avoir facilité nos différentes manipulations. Nous témoignons nos sincères remerciements au docteur Bernadette EHUI AVO BILE pour ses conseils avisés qui nous ont permis d'améliorer ce travail. Nous n'oublions pas le Professeur Abdelilah CHTAINI pour son encadrement qui nous a permis de manipuler, modifier et caractériser électrochimiquement les électrodes à pâte de carbone.

REFERENCES

- [1] Observation Régionale de Santé (ORS) - FOCUS SANTÉ EN ÎLE-DE-FRANCE - Perturbateurs endocriniens, mars 2019 « www.ors.idf.org » (15 juin 2023).
- [2] Slama R, Cordier S. Impact des facteurs environnementaux physiques et chimiques sur le déroulement et les issues de grossesse. *J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod*; 42 (5). 413-44, 2013.
- [3] Chateau G., Chavrogne J., Dupoirion B. Introduction dans composés perfluorés: évaluation et gestion des risques liés au PFOA– Atelier Santé Environnement–IGS–ENSP, Rennes, France, 7, 2005.
- [4] Organisation mondiale de la santé (OMS). Rapport historique sur les effets pour l'homme de l'exposition aux perturbateurs endocriniens chimiques, 2013.
- [5] Joensen UN, Bossi R, Leffers H, Jensen AA, Skakkebaek NE, Jorgensen N. Do perfluoroalkyl compounds impair human semen quality? *Environ Health Perspect*; 117 (6); 923-7, 2009.
- [6] Joensen UN, Bossi R, Leffers H et al. Do perfluoroalkyl compounds impair human semen quality? *Environ. Health Perspect.*; 117 (6); 923-7, 2009.
- [7] A.C. Ayena M. Agassounon Djikpo Tchibozo, H. Adoukonou-Sagbadja, G. A. Mensah, C. Agbangla, L. Baba-Moussa, C. Ahanhanzo. Santé et Environnement. *Rev. Microbiol. Ind* 11 (1); 1-15, 2017.
- [8] Assogbadjo A. E, Kyndt T, Chadare FJ, Sinsin B, Gheysen G, Eyog- Matig O., Van Damme P., Genetic finger printing using AFLP cannot distinguish traditionally classified baobab morphotypes. *Agrofor. Syst.*, 75; 157-165, 2009.
- [9] Agassounon Djikpo Tchibozo M., Djikpo Tchibozo M., Savadogo A., Karou D.S., Toukourou F., de Souza C., Connaissances endogènes et études phytochimiques de *Flacourtia flavescens* Willd. (*Flacourtia indica* (Burm f.) Merr.). *Tropicultura*, 1; 3-8, 2012.
- [10] Hoékou P.Y., Batawila K., Gbogbo K. A., Karou D.S., Ameyapoh Y., de Souza C. Evaluation des propriétés antimicrobiennes de quatre plantes de la flore togolaise utilisées en médecine raditionnelle dans le traitement des diarrhées infantiles. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6 (6); 3089-3097, 2012.
- [11] Patel, JP, Tripathi, P, Sharma, V, Chauhan, NS, Di. *Phyllanthus amarus*: Ethnomedical uses, phytochemistry and pharmacology: a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 138; 286-313, 2011.
- [12] KAMBIRE Ollo, Etude caractéristique des électrodes dans contribution à l'étude électrochimique de la cinétique de dégagement du dioxygène et du dichlore sur diverses anodes métalliques préparées par voie thermique, thèse de doctorat N° d'ordre 1007/2016, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire 58. (2016).
- [13] J.C. Miller, J.N. Miller, « Basic statistical methods for analytical chemistry. Part I. Statistics of repeated measurements », *Analyst*, 113; 1351–1356, 1988.
- [14] Mohammad Hossein Ghanbari & Faezeh Shahdost-Fard & Mojtaba Rostami & Alireza Khoshroo & Ali Sobhani-Nasab & Nazila Gholipour & Hamid Salehzadeh & Mohammad Reza Ganjali & Mehdi Rahimi Nasrabadi & Farhad Ahmadi. Electrochemical déterminations of the antipsychotic medication clozapine by a carbon paste electrode modified with a nanostructure prepared from titania nanoparticles and copper oxide, *Microchimica Acta* 89, 2019.
- [15] Guoshuai Liu, Hao Zhou, Jie Teng, Shijie You. Electrochemical degradation of perfluorooctanoic acid by macro-porous titanium suboxide anode in the presence of sulfate, *Chemical Engineering Journal*, 371; 7–14, 2019.
- [16] Marek Trojanowicz, Iwona Bartosiewicz, Anna Bojanowska-Czajka, Krzysztof Kulisa, Tomasz Szreder, Krzysztof Bobrowski, Henrietta Nichipor, Juan Application of ionizing radiation in decomposition of perfluorooctanoate (PFOA) in waters, *Chemical Engineering Journal*, 357; 698-714, 2019.
- [17] Chen, Y.-C.; Lo, S. -L.; Kuo, J. Effects of titanate nanotubes synthesized by a microwave hydrothermal method on photocatalytic decomposition of perfluorooctanoic acid. *Water Res.* 45; 4131-4140, 2011.
- [18] Lee, Y.-C.; Wang, P.-Y.; Lo, S.-L.; Huang, C. Recovery of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from dilute water solution by foam flotation. *Sep. Purif. Technol.* 173; 280-285, 2017.

Les animations graphiques et leur impact sur l'apprentissage de l'immunologie par les élèves de la 3^{ème} année du collège: Cas de l'immunité innée

[Graphic animations and their impact on the learning of immunology by 3rd year college students: Case of innate immunity]

Mouad CHAT, Anouar AIDOUN, El Mostafa AMIRI, and Rachid JANATI-IDRISSI

Equipe de recherche en ingénierie pédagogique et didactique des sciences (ERIPDS), Ecole normale supérieure, Abdelmalek Essaadi University, Tetouan, Morocco

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The integration of information and communication technologies in the teaching of scientific disciplines multiplies the teaching capacities which makes it possible to approach scientific concepts and notions. In the same context, the use of graphic animations for learning is more and more frequent, especially to show complex, invisible and dynamic phenomena. The main objective of our work is to examine the impact of graphic animations on the learning of innate immunity by third-year college students. To do this, a sample of 66 students was divided into a control group (n=33) and an experimental group (n=33) whose only difference was the use or non-use of graphic animations. The two groups of students took a knowledge test twice: The first before the course (pre-test) and the second after the course (post-test). Statistical analyzes were performed with the independent samples t-test to compare the post-test scores as well as the relative learning gain between the two groups of students. The results showed clearly that the grades and the relative learning gain of students in the experimental group (taught with the animations) are higher and significantly different from those of the students in the control group (taught in the traditional way). This shows that teaching with graphic animations can have a very positive impact on student learning and on improving their academic performance.

KEYWORDS: ICT, graphic animations, learning, immunology, innate immunity.

RESUME: L'intégration des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des disciplines scientifiques multiplie les capacités pédagogiques qui permettent d'approcher les concepts et les notions scientifiques. Dans le même contexte, l'usage des animations graphiques pour l'apprentissage est de plus en plus fréquent, surtout pour visualiser les phénomènes complexes, invisibles et dynamiques. L'objectif principal de notre travail est d'examiner l'impact des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunité innée par les apprenants de la troisième année du collège. Pour ce faire, un échantillon composé de 66 élèves était divisé en un groupe témoin (n=33) et un groupe expérimental (n=33) dont la seule différence est l'utilisation ou la non utilisation des animations graphiques. Les deux groupes d'élèves ont passé un test de connaissance à deux reprises: La première avant la réalisation du cours (pré-test) et la deuxième après la réalisation du cours (post-test). Les analyses statistiques ont été effectués avec le test t pour échantillons indépendants pour comparer les notes du post-test ainsi que le gain relatif d'apprentissage entre les deux groupes d'élèves. Les résultats ont clairement indiqué que les notes et le gain relatif d'apprentissage des élèves du groupe expérimental (enseigné avec les animations) sont plus élevés et significativement différents de ceux des élèves du groupe témoin (enseigné de manière traditionnelle). Ce qui montre que l'enseignement avec les animations graphiques peut avoir un impact très positif sur l'apprentissage des élèves et sur l'amélioration de leurs performances scolaires.

MOTS-CLEFS: TIC, animation graphique, apprentissage, immunologie, immunité innée.

1 INTRODUCTION

Les stratégies et les réformes adoptées par le gouvernement marocain visent à améliorer le secteur d'éducation en développant une culture pédagogique qui favorise l'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'éducation [1]. Ces Technologies sont des puissants outils éducationnels et des vecteurs d'accélération du développement humain, social et économique [2].

Les révolutions technologiques récentes ont entraîné un formidable développement des ressources numériques multimédias utilisés dans l'éducation. Un exemple particulier de ces ressources multimédia est l'animation graphique qui représente un outil de visualisation très performant pouvant être utilisé pour enseigner et apprendre les concepts scientifiques dynamiques qui changent dans le temps et dans l'espace, ainsi que de simuler les phénomènes complexes, invisibles et abstraits [3], [4], [5], [6].

2 PROBLEMATIQUE

Les sciences en général et les sciences biologiques en particulier sont en perpétuel changement et en évolution. L'immunologie représente une branche de ces sciences biologiques qui est définie par son caractère transversal et interdisciplinaire [7], [8].

Actuellement l'immunologie fait partie des programmes officiels éducatifs marocains; Au niveau de la 3^{ème} année secondaire collégial et la 2^{ème} année BAC. Cependant, l'immunologie au Baccalauréat est réservée juste pour l'option sciences de la vie et de la terre. Par conséquent, les autres options de Baccalauréat, qui représentent la plupart des apprenants marocains, auront l'occasion d'étudier l'immunologie une seule fois pendant leur parcours scolaire et c'est durant la 3AC. D'où la nécessité d'améliorer l'enseignement de l'immunologie en 3AC parce que c'est la base des acquis immunologiques de la plupart des apprenants marocains.

L'immunologie apparaît comme une discipline scientifique qui est difficile à enseigner surtout pour des apprenants de 3^{ème} année du collège. Cette discipline comporte des notions scientifiques abstraites et des phénomènes dynamiques microscopiques non directement observables et qui se passent à l'échelle moléculaire. Elle incite aussi à poser des questions transversales, recouvrant des concepts interdisciplinaires comme ceux de régulation, réseau, individus système, etc [9]...

De plus, le fait que l'immunologie est étroitement liée à la vie quotidienne des apprenants, peut engendrer des fausses idées et représentations, qui peuvent constituer des défis éducatifs pour les enseignants et des obstacles à l'apprentissage pour les apprenants [10].

Toutes ces raisons nous amènent à poser la problématique suivante: Comment peut-on améliorer l'apprentissage de l'immunologie en 3^{ème} année du collège ?

Parmi les solutions figure les animations graphiques, qui sont devenues des outils didactiques très intéressants à intégrer dans les pratiques pédagogiques de l'enseignement des sciences. Ces outils peuvent motiver et attirer l'attention des élèves, remplacer les expériences non faites ou encore de visualiser les phénomènes abstraits non-observables en réalité, et ils peuvent également simplifier les notions complexes pour qu'ils soient compatibles avec le niveau intellectuel des élèves.

Notre objectif de travail était de mesurer l'impact des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunologie par les élèves de troisième année du collège. Nous avons choisi la thématique de l'immunité innée qui comporte les notions suivantes: Les barrières naturelles, la réaction inflammatoire et la phagocytose.

Nous avons donc formulé nos questions de recherche comme suite:

- Est-ce que l'intégration des animations graphiques aura un impact sur l'apprentissage de l'immunité innée par les élèves de 3^{ème} année du collège ?
- Est-ce que l'intégration des animations graphiques aura un impact significatif sur les notes des élèves ?
- Est-ce que l'intégration des animations graphiques affecte-elle de manière significative le gain relatif d'apprentissage des élèves ?

3 METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Afin d'évaluer l'impact de l'intégration des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunité innée par les élèves de 3^{ème} année, nous devons comparer deux situations d'enseignement-apprentissage, l'une avec les animations graphiques et

l'autre sans animations graphiques. Le but est de savoir si la situation utilisant l'animation graphique est significativement plus favorable ou non que la situation traditionnelle.

Pour cette raison, un groupe témoin et un groupe expérimental ont été créés pour vérifier l'impact de ces animations. Ces groupes ont été enseignés de la manière suivante:

- Le groupe témoin: enseigné à travers une méthodologie active qui incite l'élève à poser des questions, à participer et résoudre des problèmes. Ainsi qu'avec des documents pédagogiques contenant des activités visant à développer l'esprit scientifique de l'élève.
- Le groupe expérimental: il suivait le cours avec la même manière utilisée avec le groupe témoin, sauf qu'il bénéficiait de voir les animations graphiques fournies par le ministère de l'éducation nationale dans le cadre du programme GENIE.

3.1 INFORMATIONS SUR L'ÉCHANTILLON D'ÉTUDE

Notre échantillon d'étude est constitué de 66 élèves de 3^{ème} année du collège appartenant à un établissement d'enseignement secondaire collégial du secteur public. Ces élèves ont été répartis en 2 groupes; un groupe témoin et un groupe expérimental, contenant chacun 33 apprenants répartis comme le montre le tableau ci-dessous:

Tableau 1. Répartition des élèves dans le groupe témoin et expérimental

Le groupe	Effectif	Nombre de garçons	Nombre de filles	Nombre de redoublants	Moyenne d'âge (ans)	Ecart-type d'âge
Groupe témoin	33	16	17	10	15.42 ans	1.091
Groupe expérimental	33	14	19	9	15.12 ans	1.219

Nous n'avons pas eu besoin de choisir une méthode d'échantillonnage ou bien de faire un tri au hasard de ces élèves, parce qu'ils constituaient dès le départ deux groupes du fait de leur appartenance en deux classes différentes. Nous avons alors choisi aléatoirement la classe 1 comme notre groupe expérimental, et la classe 2 comme notre groupe témoin.

3.2 PRE-TEST / POST-TEST

Afin d'évaluer l'apprentissage des élèves à propos des concepts de l'immunité innée, un test de connaissance a été élaboré pour être utilisé comme pré-test et post-test. Les deux groupes d'élèves ont passé le test de connaissance à deux reprises: La première avant la réalisation du cours (pré-test) et la deuxième après la réalisation du cours (post-test).

Les deux tests avaient exactement les mêmes questions, pour démontrer le progrès réalisé par l'élève, durant l'apprentissage de l'immunité innée, lorsque ses notes du post-test sont supérieures aux notes du pré-test. Les deux tests étaient totalement anonymes et notés au total sur 20 points, et ils ont été effectués dans un délai de 10 min.

Les questions du test couvraient les informations nécessaires que doit retenir l'élève durant l'apprentissage de l'immunité innée, et ils étaient préparés selon les quatre niveaux de la taxonomie de Bloom: Mémorisation, Compréhension, Application et Description.

Tableau 2. Tableau de spécification du pré-test/post-test

	Type de question	Thème	Niveau	Note (/20)
Question 1	Question ouverte	Barrières naturelles	Description	4
Question 2	Question fermée	La réaction inflammatoire	Mémorisation	4
Question 3	Question fermée à choix multiple	La réaction inflammatoire	Compréhension	4
Question 4	Question fermée	Phagocytose	Application	8

3.3 CALCUL DU GAIN RELATIF D'APPRENTISSAGE

Selon [11], « l'effet d'apprentissage » d'un cours à l'aide d'un outil est mesuré en calculant les indices de gain entre deux moyennes. Et on distingue:

- Le gain brut: qui correspond à ce qui a été effectivement gagné. Se calcule simplement par la différence entre la note moyenne APRES et la note moyenne AVANT le cours ($\mu_2 - \mu_1$).
- Le gain relatif: Il s'agit du rapport entre ce qui a été gagné et ce qui pouvait être gagné et se calcule par la formule suivante:

$$\text{Gain relatif d'apprentissage} = \frac{\text{Note Post test} - \text{Note Pré test}}{\text{Note Maximale} - \text{Note Pré test}} * 100$$

On peut considérer qu'il y a un effet d'apprentissage lorsque ce gain relatif est supérieur à 30 ou 40% [11].

3.4 LES ANIMATIONS CHOISIES

Afin d'atteindre nos objectifs de recherche, deux animations ont été choisies pour évaluer leur impact sur l'apprentissage de l'immunité innée chez les apprenants de la 3^{ème} année collégiale.

Ces deux ressources numériques ont été présentées dans le guide pédagogique de l'intégration des TIC¹ dans l'enseignement des SVT² au cycle secondaire comme un exemple d'outil aidant à la construction de la leçon de l'immunité innée [12].



Fig. 1. Animation de la réaction inflammatoire

La première animation concerne la réaction inflammatoire et ses différents symptômes (rougeur, douleur, gonflement et température) et l'origine de la manifestation de chaque symptôme. Elle représente une situation d'un enfant qui sera blessé par une épine, suivi par la suite d'une pénétration des bactéries et leur multiplication, ce qui va être à l'origine du déclenchement de la réaction inflammatoire.

¹ TIC : Technologies d'Information et de Communication

² SVT : Sciences de la vie et de la terre

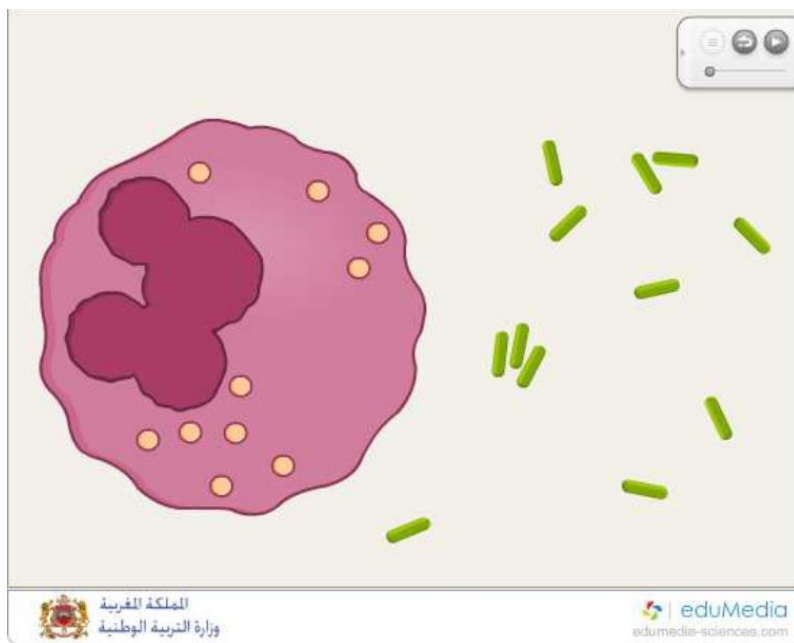


Fig. 2. Animation de la phagocytose

La deuxième animation représente le phénomène de la phagocytose et ses différentes étapes (fixation, ingestion, digestion et rejet des déchets). Elle permet de percevoir, de façon continue et dynamique, comment se réalise la phagocytose des bactéries par les cellules phagocytaires.

Dans le cadre du programme GENIE le ministère de l'éducation nationale, et en partenariat avec EduMedia, a fait diffuser ces ressources numériques de par deux modalités: par l'installation physique à l'aide des CD-ROM et aussi en ligne.

Pour notre cas, Nous avons trouvé ces ressources numériques dans le laboratoire d'un établissement d'enseignement secondaire collégial sous forme de CD-ROM.



Fig. 3. Ressources numériques en SVT pour la 3^{ème} année du collège sous forme de CD-ROM

3.5 LE CHOIX DU TEST STATISTIQUE

Afin d'arriver à notre objectif, nous devons faire une comparaison entre les scores du groupe témoin et du groupe expérimental après la réalisation du cours pour vérifier l'effet des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunité innée par les élèves de troisième année du collège.

Le test t de student pour échantillons indépendants est parmi les tests statistiques les plus utilisés pour comparer deux moyennes provenant de deux échantillons indépendants. Cependant, il s'agit d'un test paramétrique, c'est-à-dire que sa validité dépend de la distribution des données. De ce fait on doit tout d'abord vérifier la normalité de la distribution des notes du post-test dans le groupe témoin et dans le groupe expérimental, ainsi que l'égalité de leurs variances avant de procéder à la comparaison des notes du post-test de ces deux groupes.

3.5.1 VÉRIFICATION DE LA NORMALITÉ

Soit H_0 l'hypothèse nulle et H_1 l'hypothèse alternative et p la probabilité de rejet de l'hypothèse nulle au seuil de 5%, alors on a :

H_0 : il y a normalité de la distribution si $p\text{-value} > 0.05$

H_1 : il n'y a pas de normalité de la distribution si $p\text{-value} < 0.05$

Tableau 3. Résultats des tests de normalité du groupe expérimental et du groupe témoin

	Le groupe	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
		Statistiques	Signification (p-value)	Statistiques	Signification (p-value)
Note post-test	Groupe témoin	0,115	0,200	0,936	0,053
	Groupe expérimental	0,128	0,187	0,945	0,093

Les deux tests de normalité (Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk) montrent des résultats non significatifs ($p > 0.05$), donc l'hypothèse nulle est acceptée, et alors la distribution normale des notes, dans les deux groupes d'élèves, est ainsi vérifiée.

3.5.2 VÉRIFICATION DE L'HOMOGENÉITÉ DES VARIANCES

Ensuite nous avons testé l'homogénéité des variances des notes du post-test des deux groupes d'élèves. Soit σ_1 et σ_2 les variances respectivement du groupe témoin et du groupe expérimental, alors on a :

H_0 : $\sigma_1 = \sigma_2$: il y a homogénéité des variances si $p\text{-value} > 0.05$

H_1 : $\sigma_1 \neq \sigma_2$: il n'y a pas homogénéité des variances si $p\text{-value} < 0.05$

Tableau 4. Résultats du test de Levene sur l'égalité des variances entre le groupe expérimental et le groupe témoin

	Le groupe	Moyenne	Ecart type	Test de Levene sur l'égalité des variances	
				F	Signification (p-value)
Note post-test	Groupe témoin	11,21	4,477	0,150	0,700
	Groupe expérimental	13,94	4,589		

Le test de Levene sur l'égalité des variances ($F = 0,150$, $p = 0,700 > 0,05$), montre que les variances des deux groupes ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$). Alors on peut accepter l'hypothèse nulle (H_0) et dire que les variances des deux groupes d'élèves sont homogènes.

Les résultats du test de normalité ont montré que les notes du post-test suivent une distribution normale ($p > 0.05$) pour les deux groupes d'élèves, et de la même manière, le test d'homogénéité des variances a montré que les variances des deux groupes à comparer sont homogènes ($p > 0.05$). Ce qui nous a amené à choisir le test paramétrique t de student pour échantillons indépendants pour comparer les moyennes de ces deux groupes.

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées sur le logiciel SPSS version 28.0.0.0.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 COMPARAISON D'ÉQUIVALENCE DES NIVEAUX DU GROUPE EXPÉRIMENTAL ET DU GROUPE TÉMOIN AVANT L'EXPÉRIMENTATION

Avant de procéder à la comparaison des notes du post-test et le gain relatif d'apprentissage pour le groupe expérimental et le groupe témoin, il faut tout d'abord vérifier l'équivalence des niveaux de ces deux groupes avant la réalisation du cours. Pour ce faire, nous allons premièrement effectuer une analyse comparative des notes de pré-test, que nous avons attribué aux élèves au début de la séance, entre les deux groupes d'apprenants.

Soit μ_1 et μ_2 respectivement les moyennes du groupe témoin et du groupe expérimental. Alors on a:

H0: $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence significative entre les groupes si $p > 0,05$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$: il y a une différence significative entre les groupes si $p < 0,05$

Tableau 5. Comparaison des moyennes des notes du pré-test du groupe témoin et du groupe expérimental

	Le groupe	N	Moyenne	Ecart type	Test t pour égalité des moyennes	
					t	Signification p bilatéral
Note pré-test/ 20	Groupe témoin	33	2,73	2,516	0.761	0.449
	Groupe expérimental	33	2,24	2,658		

Les résultats du test t pour échantillons indépendants ($t = 0,761$, $p = 0,449 > 0,05$) montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre le niveau du groupe expérimental et du groupe témoin au début de l'expérimentation, de façon que la signification p soit largement supérieure au seuil de signification $\alpha=0,05$. Alors, l'hypothèse nulle est acceptée et les deux groupes sont considérés comme ayant le même niveau au début de l'expérimentation.

4.2 COMPARAISON DE LA MOYENNE DES NOTES DU POST-TEST DU GROUPE EXPÉRIMENTAL PAR RAPPORT AU GROUPE TÉMOIN:

L'analyse statistique des notes du post-test donne, pour le groupe expérimental une moyenne de 13,94 et un écart-type de 4,59, et pour le groupe témoin une moyenne de 11,21 et un écart-type de 4,48. On remarque qu'il y a une différence entre les deux moyennes, de telle façon que le groupe expérimental a obtenu une moyenne de note supérieure à celle du groupe témoin. Mais est ce que cette différence est significativement et suffisamment grande pour conclure l'effet des animations graphiques sur les notes des élèves ?

Pour répondre à cette question on va suivre la méthodologie d'interprétation suivante:

H0: $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence significative entre les groupes si $p > 0,05$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$: il y a une différence significative entre les groupes si $p < 0,05$

Tableau 6. Comparaison de la moyenne des notes du post-test entre le groupe expérimental et le groupe témoin

	Le groupe	N	Moyenne	Ecart type	Test t pour égalité des moyennes	
					t	Signification p bilatéral
Note post-test/ 20	Groupe témoin	33	11,21	4,477	-2,444	0.017
	Groupe expérimental	33	13,94	4,589		

Les résultats du test t pour échantillons indépendants ($t = -2,444$, $p = 0,017 < 0,05$) indiquent une différence statistiquement significative entre la moyenne des notes du post-test du groupe expérimental et du groupe témoin après la réalisation du cours de façon que la signification p soit inférieure au seuil de signification $\alpha=0,05$.

Alors, on peut rejeter l'hypothèse nulle (H0) et accepter notre hypothèse alternative (H1) et dire que les élèves du groupe expérimental, qui ont été enseignés avec les animations graphiques, ont obtenu des notes supérieures et significativement différentes de celles du groupe témoin, enseigné de manière traditionnelle, malgré que les élèves des deux groupes avaient des niveaux similaires au départ.

On doit remarquer aussi qu'au début de l'expérimentation, la moyenne du groupe témoin était plus élevée que celle du groupe expérimental, mais à la fin de l'expérimentation la moyenne du groupe expérimental a devenu plus élevée et significativement différente de celle du groupe témoin, ce qui montre l'effet des animations graphiques utilisées et confirme leur impact sur l'amélioration des performances des élèves.

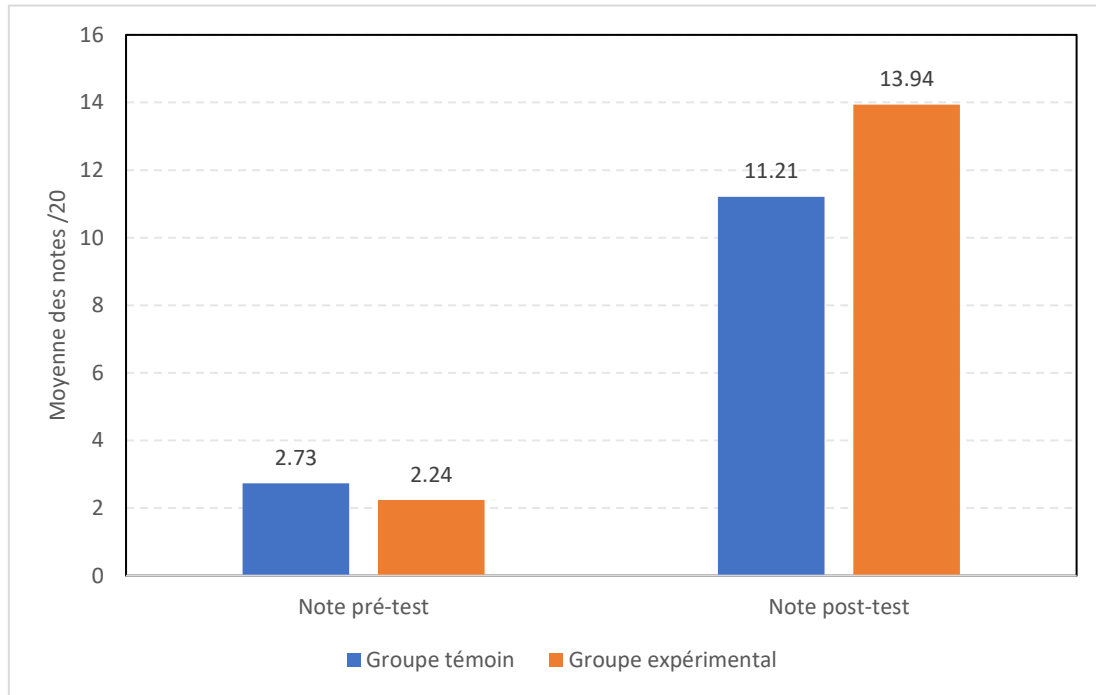


Fig. 4. Graphique présentant la progression du groupe expérimental et du groupe témoin du pré-test au post-test

4.3 COMPARAISON DU GAIN RELATIF D'APPRENTISSAGE ENTRE LE GROUPE EXPÉRIMENTAL ET LE GROUPE TÉMOIN

Le gain relatif d'apprentissage permet de calculer l'écart entre l'apprentissage des élèves avant et après l'expérimentation. Il est calculé par la formule suivante:

$$\text{Gain relatif d'apprentissage} = \frac{\text{Note Post test} - \text{Note Pré test}}{\text{Note Maximale} - \text{Note Pré test}} * 100$$

On peut considérer qu'il y a un effet d'apprentissage lorsque ce gain relatif est supérieur à 30 ou 40%.

Dans notre cas, nous avons calculé le gain relatif d'apprentissage pour chaque élève en se servant de ses notes de pré-test et du post-test. Puis nous avons calculé la moyenne des gains relatif d'apprentissage pour le groupe témoin et le groupe expérimental pour vérifier s'il y a manifestation d'un effet d'apprentissage. Ensuite nous avons analysé la différence entre le groupe témoin et le groupe expérimental concernant le gain relatif d'apprentissage à travers le test t pour échantillons indépendants pour comparer la moyenne du GRA entre ces deux groupes.

Tableau 7. Comparaison du gain relatif d'apprentissage entre le groupe témoin et le groupe expérimental

	Classe	N	Moyenne (%)	Ecart type	Test t pour égalité des moyennes	
					t	Signification p bilatéral
Gain relatif d'apprentissage	Groupe témoin	33	49,778	23,345	-3,068	0.003
	Groupe expérimental	33	67,517	23,627		

L'analyse statistique du gain relatif d'apprentissage donne une moyenne de 49,78% pour le groupe témoin et une moyenne de 67,52% pour le groupe expérimental.

On remarque que les deux moyennes sont supérieures à 40%, donc on peut considérer qu'il y a manifestation d'un effet d'apprentissage chez les deux groupes d'élèves.

Cependant, ces deux moyennes sont différentes, de telle sorte que le groupe expérimental a réalisé un gain relatif d'apprentissage plus élevé que celui du groupe témoin. Pour vérifier la signification de cette différence nous allons suivre la même méthodologie d'interprétation:

Soit μ_1 et μ_2 respectivement le moyenne de gain relatif d'apprentissage du groupe témoin et du groupe expérimental, et p la probabilité de rejet de l'hypothèse nulle au seuil de 5%. Alors on a:

H0: $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence significative entre les groupes si $p > 0,05$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$: il y a une différence significative entre les groupes si $p < 0,05$

Les résultats du test t pour échantillons indépendants ($t = -3,068$, $p = 0,003 < 0,05$) montrent une différence très significative du gain relatif d'apprentissage entre le groupe expérimental et le groupe témoin, de façon que la signification p est largement inférieure au seuil de signification α .

Ces résultats nous permettent de rejeter l'hypothèse nulle (H0) et de confirmer l'hypothèse alternative (H1), et de conclure ainsi que l'intégration des animations graphiques a affecté de manière très significative le gain relatif d'apprentissage des élèves du groupe expérimentale, concernant les notions de l'immunité innée, par rapport aux élèves du groupe témoin.

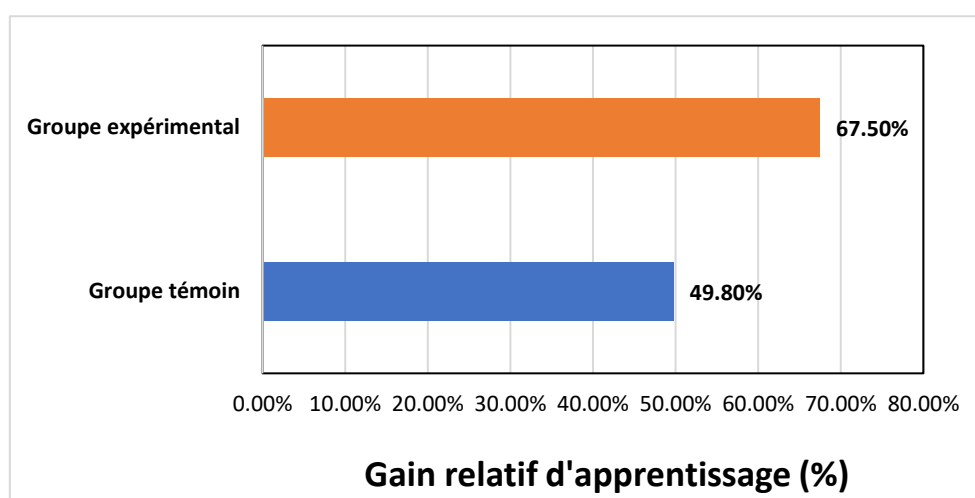


Fig. 5. Graphique comparant le gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental avec celui du groupe témoin

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail a permis de montrer l'importance des animations graphiques comme supports pédagogiques bien adaptés pour l'enseignement-apprentissage de l'immunologie, comme étant une matière scientifique complexe, au profit des élèves de troisième année du collège, facilitant d'une part l'enseignement des phénomènes dynamiques et invisibles, et d'autre part contribuant à la motivation des élèves, l'amélioration de leurs résultats et la favorisation d'un apprentissage plus efficace.

Le test bilatéral t pour échantillons indépendants a montré qu'au seuil de signification de 5%, la moyenne des notes du post-test du groupe expérimental était significativement différente ($p < 0,05$) de celle du groupe témoin. Par la suite la comparaison du gain relatif d'apprentissage entre les deux groupes en utilisant le test bilatéral t pour échantillons indépendants a montré que la moyenne du gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental est significativement différente de celle du groupe témoin ($p < 0,05$).

Par conséquent, et d'après tout ce qui précède, nous avons pu conclure que: l'utilisation des animations graphiques, au bon moment durant la séance, avec une démarche active et une approche constructiviste, et dans des bonnes conditions, améliore les résultats des élèves et favorise l'apprentissage de l'immunité innée.

Ce constat concorde avec les résultats publiés par les chercheurs: [13], [14], [15], [3], [6].

Sans mettre en doute l'importance de notre travail de recherche, il nous est paru évident qu'il faut formuler quelques recommandations, pour continuer dans ce domaine de recherche et pour améliorer l'enseignement de l'immunologie:

- Très peu nombreuses sont les études en didactique qui prennent l'immunologie comme thème de recherche. C'est un domaine qui est faiblement étudié par les chercheurs en didactique des sciences, alors qu'il est parmi les disciplines qui touchent d'une manière directe notre vie quotidienne, et qui peuvent être à l'origine de nombreuses représentations de la part des élèves lors de son enseignement. De ce fait, il sera souhaitable de multiplier les recherches en didactique d'immunologie pour étudier les représentations qui en découlent, afin d'améliorer l'enseignement de cette discipline.
- D'autre part, les disciplines scientifiques impliquent des concepts et des phénomènes complexes et non directement observables, à cause de la nature microscopique du processus (la réplication d'ADN, la propagation de l'influx nerveux...), ou en raison de la vitesse lente du phénomène (formation de la chaîne de montagne, croissance des plantes...). De ce fait, nous proposons d'encourager la création des animations graphiques explicatives ainsi que leur intégration dans la pratique d'enseignement des sciences, compte tenu du rôle important qu'elles jouent pour rapprocher la réalité à l'élève d'une façon ludique et amusante, et vue son impact positif sur l'apprentissage des élèves.

REFERENCES

- [1] Berrada, K., el Kharki, K., & Ait Si Ahmad, H. (2022). Science Education in Morocco. In *Lecture Notes in Educational Technology* (p. 93-112). https://doi.org/10.1007/978-981-16-6955-2_7. Springer Science., Business Media.
- [2] Maouni, A., Mimet, A., Madrane, M., Khaddor, M., & Moumene, M. (2014). L'intégration des TIC dans l'enseignement des SVT au Maroc : réalité et attentes. <https://www.researchgate.net/publication/289994213>.
- [3] Sudatha, I. G. W., & Simamora, A. H. (2021). The Effectiveness of Using Dynamic Visualization in Natural Science Learning to Improve Students' Understanding in Junior High Schools. *Journal of Educational Science and Technology (EST)*, pp. 32-39. <https://doi.org/10.26858/est.v7i1.17681>.
- [4] Berney, S., & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers and Education*, 101, pp. 150-167. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.005>
- [5] Boucheix, J.-M., & Rouet, J.-F. (2007). NOTE DE SYNTHÈSE Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage ? *Revue française de pédagogie*, n° 160, pp. 133-156.
- [6] Kwasu, I. A. (2015). Effectiveness of Animated Instructional Resource for Learning Facilitation among Secondary School Student in Bauchi Nigeria. In *Journal of Education and Practice* (Vol. 6, Numéro 21).
- [7] Aidoun, A., Zerhane, R., Madrane, M., Janati-Idrissi, R., & Laafou, M. (2016a). Le concept de l'immunité naturelle dans les manuels scolaires marocains: La 2^{ème} année du Baccalauréat comme exemple. In *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 16, Numéro 2. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [8] Ridha, B., & Maaroufi, A. (2022). L'immunité de l'organisme dans le manuel de l'élève au cycle secondaire de l'enseignement en Tunisie: l'actualité des savoirs et les styles d'enseignement. *Mediterranean Journal of Education*, Vol. 2, Numéro 1, pp. 65-80. <https://doi.org/10.26220/mje.3843>.
- [9] Rumelhard, G. (1990). L'enseignement De L'immunologie : Thèmes De Recherche. Aster, recherches en didactique des sciences expérimentales, n°10, pp. 3-7.
- [10] Aidoun, A., Mahdi, K., Tarichen, A., Zerhane, R., Madrane, M., Janati-Idrissi, R., & Laafou, M. (2016b). Students' Perceptions on Some Immunological Concepts. In *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 16, Numéro 3. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [11] Gerard, F.-M., Braibant, J.-M., & Thérèse, B. (2006). Évaluer l'efficacité pédagogique d'une formation ou d'un cours à l'aide d'un outil d'autoévaluation. www.ipm.ucl.ac.be.
- [12] MEN. (2012). Guide pédagogique pour l'intégration des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des sciences de la vie et de la terre dans les classes secondaires préparatoires et secondaires qualifiantes.
- [13] EL Hammoumi, S., Zerhane, R., Janati-Idrissi, R., Madrane, M., & Laafou, M. (2019). L'impact des animations graphiques interactives sur le processus d'enseignement-Apprentissage de la transmission synaptique-Première année Baccalauréat Sciences de la vie et de la terre (Maroc). In *International Journal of Innovation and Applied Studies* (Vol. 25, Numéro 3).
- [14] Cevahir, H., Özdemir, M., & Baturay, M. H. (2022). The Effect of Animation-Based Worked Examples Supported with Augmented Reality on the Academic Achievement, Attitude and Motivation of Students towards Learning Programming. *Participatory Educational Research*, Vol. 9, Numéro 3, pp. 226-247. <https://doi.org/10.17275/per.22.63.9.3>.
- [15] Pinter, R., Radosav, D., Cisar, S. M., & Radosav, D. (2012). Analyzing the Impact of Using Interactive Animations in Teaching. In *Communications & Control*: Vol. 7, Numéro 1.

Vodoun: Historical and socio-anthropological study of an ancestral heritage in search of affirmation

Bienvenu Hospice Hounyoton

Anthropologist and Human Rights Specialist, National Institute of Youth, Physical Education and Sport,
University of Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2024 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 sheds light on the undeniable significance of Vodoun in Benin as a deeply rooted religious and cultural phenomenon. This anthropological religious practice exerts a crucial influence on both individual and collective levels. The examination of Vodoun in Benin reveals its profound integration into local culture, playing a pivotal role in promoting spiritual well-being and constructive collaboration between authorities and guardians of religious tradition. It constitutes an indispensable pillar of socio-cultural identity, contributing to development and the protection of human rights. According to our findings, Vodoun maintains a close connection with power, endowing it with legitimacy in various aspects, and it holds great importance in educational, social, cultural, economic, and political domains. Taking these elements into consideration, it is universally acknowledged as a foundational religion that encourages harmonious coexistence with other beliefs. It occupies a central place in religious and political culture, thus contributing to the country's development. Nevertheless, challenges persist, notably the fight against discrimination and the essential promotion of interreligious tolerance. It is imperative for public authorities to actively collaborate with Vodoun to address development challenges and promote religious tolerance in Benin, thereby preserving the richness of its religious culture.

KEYWORDS: Vodoun, Religion, Culture, Identity, Development, Tolerance.

1 INTRODUCTION

Without a doubt, the question of religious belief is today a major issue for understanding the constitutions of the nation-states of black Africa (Bayart, 2018), in particular their vision of governance and progress. In Benin, the question of religious belief has been on the agenda since the emergence of Vodoun cultural practices in the Beninese political world during the revolutionary period of the 1980s, thus demonstrating the ubiquity of religion and the necessity of its influence over the domain. In Benin, the importance of religious facts is observed in the field of public administration, communities and state institutions. Vodoun, particularly in Benin, supports or is directly associated with activism in the public sphere, legitimizing power and serving as a tool for the emancipation of classes or political groups. In Benin, reflection on the role of Vodoun in society remains embryonic or almost absent, although we note its precedence in acts, speeches and political expressions.

An in-depth survey in major cities reveals the relationship between religious belief and power, particularly highlighting the connection between Vodoun and power. This coexistence was fostered by the "democratic renewal" government in the 1990s, which found strong support among religious dignitaries and traditional figures. They were recognized as essential mediators between the state and grassroots communities, playing a crucial role in communication between public authorities and citizens.

Beninese public life offers a unique message of intimacy between this cultural banality that constitutes Vodoun, which will bring assurance, security, well-being and the assurance of leading the State, public and private administration., municipal or any other socially constituted group. This pre-eminence of Vodoun would reduce the major act of social change to a couple formed by power and this cultural specificity, which questions us on the question of religious belief in the political sphere of Benin in the era of democracy and ideologization of good practices in political and public governance.

If the study of Vodoun most often involves understanding the deep meanings of the beliefs and practices of Vodoun (Rousse-Grosseau, 1992), the customs, beliefs and institutions of primitive peoples (Comby, 1993), their imaginations and representations (Hounyoton, 2017), its artistic side (Hainard & Mathez, 2007), and its political and religious aspects are rarely shown in their conduct of public affairs. Recognizing religion and currents of thought in thinking about the concept of power and authority, and in their exercise, drawing on the sociological, legal and anthropological work of recent decades, we can ask ourselves how Vodoun has played an active role in the definition and deployment, even the development, of public policies? The study aims to show that the link between Vodoun and political power is more complex and less clear-cut than it seems. For example, how do Vodoun customs affect the conduct of public affairs, the management of public resources and the protection of human rights in Beninese society? How have Vodoun practices continued to be used to exercise political power over time?

The research aims to show that the link between Vodoun and political power is more complex and less clear-cut than it seems. For example, how does the practice of Vodoun affect the conduct of public affairs, the management of public resources and the protection of human rights in Beninese society? How have Vodoun practices been and continue to be used in the exercise of political power over time? How do politicians or individuals continue to use this governance model? How is such a taxonomy updated over time? How do men and women, particularly politicians, come to use Vodoun practices in the exercise of their functions?

By what mechanism is Vodoun considered as a means of exercising cultural power? In this context, how do people perceive the words and actions of government authorities? All of these questions (non-exhaustive), which must obviously be related to the social attributes and the endogenous anchoring of Vodoun in the Beninese context, constitute so many research questions whose analyzes cannot be reduced to an approach utilitarian Vodoun, nor the dissemination of any religious ideology, but the search for efficiency in public actions.

If we want to take them into account, we must be attentive to the tendency, over time, to draw on various philosophical sources, patterns of reasoning and cultural references of action of Vodoun practices in and absorb all the consequences logics of the notion of power as it has been developed since independence in a complementarist sense (Devereux, 1967). In other words, it is a question of understanding public actors (politicians, leaders and civil servants) of society from the double dimension of culture and religion, as levers for apprehension of power, based on their history, their socialization and their contextualization and the spatial experience which makes them actors resolutely straddling tradition and modernity.

The research is descriptive and analytical in nature, combining scientific writing, metanarratives, direct observation and in-depth interviews. It is essentially based on the systemic and multi-scale approach (from the local scale to the institutional scale to analyze the social use of Vodoun in governance processes. Work on scientific production, power and religion, notably Vodoun and power in the Beninese context, allow a critical analysis of writings and literature related to this subject. It is enriched with ethnohistory based on historical data and other information from the works Africanist historians and anthropologists, for example: (Aclinou, 2016), (Ballard, 1998), (Cornevin, 1969), (Gayibor, 2011), (Poda, 2010), (De la Torre, 1991) and so and so, adding our personal experiences, stories with our parents and in the Vodoun initiation convents, but also the traditional national philosophy, whose teachings give us insight into the different writings.

In-depth personal interviews made it possible to understand the legitimacy of the link between religion and politics in a Beninese context characterized by difficulties in collecting information and complex themes. Through these interviews, it is possible to understand the influence of Vodoun social practices, in particular cults, rituals or sacrifices in the political sphere on the relationship between the Beninese and the power, as well as the different strategies of social and cultural appropriation that they developed.

Understanding the phenomenon of use and appropriation of Vodoun in politics facilitates the understanding of the subtleties associated with it relating to specific social and cultural practices which permeate moral and political institutions, customary rules as well as everyday gestures (calendars, festivals, initiations, ceremonies, political or cultural events etc.).

Individual interviews were also conducted with members of political groups, ministerial offices, administrative officials at all levels, but also agents in order to understand the extent of this phenomenon and to learn about the reasons justifying such recourse to Vodoun practices in political matters, particularly in the conduct of public and private affairs. Other interviews with senior dignitaries and people who do not use these practices helped to understand the sociocultural perception of a living practice in politics in Benin.

We will observe, particularly in institutional, religious and political circles, that telling the truth encounters obstacles due to social, moral and political constraints and issues. In this case, the ideal posture to obtain useful and weak information in this framework is that of the anthropologist who tries to approach by looking at the groups that we are trying to approach as a whole not as individuals but as as whole people "by slow and continuous direct paths of impregnation" (Laplantine, 2001, p.

17), and by maintaining individualized relationships with the different members of the social group observed. Consequently, we use observation directly to account for the way in which the Beninese use Vodoun, in particular its practices, to achieve their ends in terms of governance or power.

In the same way as Rostaing (2017), we can affirm that the Vodoun field presents specificities which, through its properties, tested the concept of the study, the ethical principles and the attitude of the researcher because of the sacred nature of the subject and its cultural anchoring.

The study was carried out in administrations, institutions, public companies, political groups, but also in private companies rationally selected due to the high observed rate of use of Vodoun practices by managers in Benin. The study involved around a hundred informants and was carried out over a period of six months. The processing of the data was subject to methods and approaches for interpreting texts or religious foundations, in particular semiotics, sociocriticism, historical-critical reading without forgetting psychoanalysis. This theoretical position makes it possible to understand the phenomenon of use of Vodoun practices in the political sphere by reconstituting the motivations of users as the result of an aggregation of individual behaviors (Boudon, 1986).

2 BENINESE VODOUN: FROM THE ORIGIN TO THE PRESENT DAY

2.1 THE ANTHROPOLOGICAL DIMENSION OF VODOUN IN BENIN

In this section, we will delve into the fascinating world of Vodoun in Benin, adopting an anthropological perspective that will allow us to better understand its origins and evolution. Vodoun, rooted in Beninese culture for generations, constitutes a complex belief system rich in deep rituals. We will explore these Vodoun beliefs and practices which have a profound influence on the daily lives of the Beninese. An in-depth analysis from an anthropological perspective allowed us to examine Vodoun as a cultural and symbolic system. We have examined its components in detail, explored its deities, studied its rituals, and explored its role as a tool of cultural expression. This perspective has greatly helped us understand how Vodoun is intrinsically woven into the social and spiritual fabric of Beninese society.

Vodoun draws its roots from the heart of Beninese history, enriched by the complex fusion between the myths and ethnophilosophy of the people who forged the region. It emerges as a response to life's challenges, thus resulting from a deep cultural elaboration. This fusion gave birth to a rich and diverse belief system, integrating elements of spirituality, rituals, and practices inherited from various traditions.

Vodoun, as defined by the Àjá-Fòn and Yoruba-Nagô cultures of Benin, Nigeria and Togo, represents "invisible spirits or forces". Etymologically, it is formed from the terms "vò" meaning the unknown and the invisible, and "dú" designating a country, a world or a universe. Thus, he evokes "the country of invisible forces". According to Roger Brand, vodoun is a traditional religion where the deities are deified powers, composed largely of a force of nature and a human being who has been able to integrate this force for his own good and that of his lineage. This definition emphasizes the direct interaction between man, animal, natural force and vodoun, where these entities offer help or refrain from harm. Kofi Folikpo compares it to an immaterial principle, a spiritual energy participating in the maintenance of cosmic balance in Divine Creation. He thus evokes Vodoun as an invisible but omnipresent reality, contributing to the harmony of the universe. According to Honorat Aguessy, Vodoun designates any power beyond human understanding and acting at the level of the invisible, whose actions are revealed to the visible world. This definition emphasizes the transcendent and mysterious dimension of Vodoun, which exerts its influence from beyond to affect the world of the living.

For us, Vodoun, rooted in West African cultures, constitutes a system of beliefs where invisible forces, divine powers, and spiritual energies interact in a mysterious and transcendent universe. This legacy of ancient civilizations offers answers to humanity's deep questions, influencing daily life while maintaining cosmic balance through its deities, natural forces, and sacred connection. It can be presented as a harmonious fusion between deeply rooted beliefs in Beninese culture and a set of ritual practices that embody these beliefs, thus forming an integrated cultural and spiritual system.

Vodoun, as a belief system, is based on the recognition of a multitude of spirits, ancestors and deities, each with their own characteristics and areas of influence. These deities are worshiped through elaborate rituals that include intoxicating dances, vibrant chants, solemn invocations, and sometimes symbolic offerings. All of these ritual practices form a sort of living pantheon where believers come into contact with the spiritual world. The Vodoun pantheon forms a complex mosaic of deities, each symbolizing particular aspects of the universe and exercising distinct functions within the Vodoun cosmology. Among these prominent deities, we can identify those who stand out for their unique attributes.

Sàkpàtà, the god of the earth, embodies the fertile power of nature. Gu, often referred to as the celestial smith and god of war, is associated with creation and protection. Xěvyósó or Sôgbô, god of thunder, represents justice and equity in the Vodoun universe. Dan, the cosmic serpent, embodies regeneration and rebirth. Tòxoxú, god of waters, is linked to aquatic elements and purification rituals. Agě, god of the bush, animals and birds, symbolizes wild life and protection. Jo, god of the air, controls the vital breath that envelops the universe. Legba, as a messenger of the Vodunns, plays a crucial intermediary role between the deities, other Vodunns and humans.

In addition, Vodoun includes the Toxwyo, clan, collectivist or family deities, who ensure the specific protection of clans, communities, families or individuals. These entities establish a vital link between the world of ancestors and the daily lives of believers, whether as an eponymous ancestor, a sacred object or even an animal or plant divinity.

It is essential to note that this rich and varied Vodoun pantheon implies that each deity contributes to maintaining cosmic balance and regulating different aspects of life within the Àjá-Fòn and Yoruba-Nagô communities. This belief in the deep interconnection between the material and spiritual world is fundamental to the way Vodoun shapes the vision of the cosmos for its followers. It has a significant impact on the daily life of the Beninese, who integrate Vodoun into many aspects of their existence. Vodoun, as an anthropological religious reality, exerts a profound influence on every aspect of daily life in Benin. It is not limited to occasional rituals, but becomes a framework for understanding the world which structures the interactions between individuals and their environment. From the life cycle, from births to marriages, to transitions to the afterlife, Vodoun ceremonies punctuate the key moments of existence, thus reflecting the way in which religious beliefs and practices are intertwined with social life. and cultural. As a source of spiritual guidance, Vodoun also plays a crucial role in individual and collective decision-making, thus demonstrating its ability to influence the choices and actions of Beninese people on a daily basis.

In an anthropological approach, the study of Vodoun as a cultural and symbolic system reveals the deep meaning of this religious reality in Beninese culture. Our research has highlighted the complexity of the rituals, symbols and practices that underlie this religion, as well as their fundamental role in the construction of identity and social dynamics within Beninese communities. This analysis highlights how Vodoun transcends its religious dimension to become a system of values and cultural references essential for communities.

By combining these different elements, we obtain a complete and nuanced vision of Vodoun, from its historical importance to its contemporary relevance in the lives of the Beninese. It is a living legacy that continues to profoundly influence Beninese society, mainly in the political sphere.

2.2 THE ANTHROPOLOGICAL EXPLORATION OF POWER IN BENIN

Benin, located in West Africa, has gone through phases of political change since gaining independence from France in 1960. It has experienced alternating periods between authoritarian regimes and episodes of democratization. Currently, Benin is a multi-party democratic republic that operates under a presidential system.

This political system is distinguished by a limited-term presidency, a unicameral parliament consisting of a National Assembly, as well as an independent judicial system. Presidential, legislative and municipal elections are regularly organized, reflecting the commitment to democratic principles.

Nonetheless, Benin has also been marked by periods of political unrest, including disputed elections and tensions between different political factions, during which Vodoun has played a vital role in fostering peace and conflict resolution.

Vodoun, deeply rooted in Beninese culture, exerts a significant influence on the country's politics. For example, Vodoun rituals are commonly used by Beninese politicians to consolidate their authority and legitimize their power. These practices aim to solicit the favor of spirits or deities, thus ensuring electoral success. Furthermore, references to Vodoun and its deities are frequent in political rhetoric, allowing political leaders to establish cultural links with the population and strengthen their legitimacy. Vodoun spiritual leaders, such as the Hunnongans, religious dignitaries and crowned spiritual leaders, are often consulted by politicians for spiritual advice and blessings during election campaigns. Their mediation between spirits and humans exerts an influence on certain political decisions. Similarly, Vodoun beliefs may influence voting behavior, with some voters choosing their candidate based on religious affiliations or reputation for Vodoun practices.

Furthermore, Benin's history includes notable examples where Vodoun was integrated into governance, such as the reign of King Béhanzin, who resisted French colonization with the help of Vodoun practices. These historical references continue to influence the perception of power and Vodoun within Beninese society. Thus, the interaction between Vodoun and politics remains a crucial element of Benin's political dynamics, embodying both a source of legitimacy and a deeply rooted cultural heritage that continues to influence political attitudes and behaviors in the country.

2.3 VODOUN AND POWER: AN INTRINSIC RELATIONSHIP

The history of the relationship between Vodoun and power in Benin is anchored in the genesis of great cultural entities and has left an indelible mark throughout the ages. However, it is essential to note that the significant rupture during the revolutionary period was not a simple act of exclusion of religious cultural expression, but rather the culmination of a process of modernization. The recurrent use of Vodunn practices by political figures, senior administration officials, aims at various objectives: strengthening the control of public actions, purifying the community, guarding against harmful forces, or even winning electoral favors and maintaining a political or administrative position. This dynamic perfectly reflects the interaction between the spheres of "values" and the "order of life" highlighted by the sociology of Max Weber, which emphasizes the interaction between the spheres of "values" and the "order of life". life". According to Weber, values, understood as the beliefs and ideals that guide individual and collective behavior, directly influence the organization of society and the institutions that govern daily life. The "order of life", for its part, refers to the set of rules, norms and social structures which govern the interactions and behaviors of individuals within society. Thus, the connection between values and the order of life reveals the way in which the convictions and ideals of the members of a society influence the configuration of their daily life and the institutions which govern it. According to this author, this dynamic between values and the organization of daily life finds a concrete illustration in the complex interaction between Vodoun, governance and culture in Benin.

It is clear, in the light of our observations, that the historical connection between Vodoun and the exercise of power persists undeniably. This close relationship has its origins in the constitution of large cultural entities, particularly at the time of the kingdoms, where the sovereigns elevated Vodoun to the rank of state religion. This testifies to its deep roots in the history and formation of cultural groups, well before the first interactions with the West and its culture.

In light of the testimonies of dignitaries, it appears clearly that the act of elevating Vodoun to the status of state religion profoundly strengthened the link between institutional power and this religious reality. This historic decision laid the foundations for a relationship that continues to this day, making Vodunn rituals, which involve intoxicating dances, bewitching songs, invocations of spirits, and sometimes even sacrifices, an essential pillar of Beninese religious culture and attributing to them a role of great importance in the political context.

In the political arena, Vodunn rituals serve various functions. On the one hand, they serve to legitimize power by allowing political leaders to consolidate their authority by invoking Vodunn spirits. Thus, they give a sacred dimension to their governance, positioning them as spiritual and political leaders. On the other hand, Vodunn rituals have also been used as a means of resistance and protest by groups opposed to the power in place. They thus become instruments of political mobilization and strengthening of protest movements, thus expressing their discontent and their desire for change. A historical example illustrating the significant influence of Vodoun on power in Benin is found in the reign of King Béhanzin (1889-1894) in Dahomey. Under his leadership, Vodoun played a central role in the fierce resistance against French colonization, thus demonstrating the mobilizing power of this religious practice in the political context of the time.

Anthropologist Susan Preston Blier, in her book "African Vodun: Art, Psychology, and Power," examines in depth the role of Vodoun in the construction of national identity and in fierce resistance against the colonial power of the era. Another famous example of Vodoun's influence on power is the Haitian Revolution, where Vodoun was used as a mobilizing force by Haitian slaves to overthrow French colonial power. Anthropologist Michel-Rolph Trouillot, in his book "Silencing the Past: Power and the Production of History," explores in detail this interconnection between Vodoun and the struggle for independence.

It is obvious, from our point of view, that the interaction between Vodoun and political power in Benin is a reality deeply rooted in the history and culture of the country. Vodunn spiritual leaders, rituals and historical examples reveal the complexity of this relationship, encompassing both legitimization and contestation of power. Anthropology, in our opinion, could play a central role in understanding these complex dynamics, confirming that Vodoun still maintains a significant influence on the political and social life of Benin.

For the majority of informants, particularly religious dignitaries, Vodoun provides answers to existential questions by providing benchmarks that give meaning to community life, while remaining closely linked to royal power. According to more than 90% of our informants, Vodoun, as a social and cultural practice, greatly influenced the formation, structuring and development of ancient kingdoms and empires, as well as the young independent state of Benin. Although the latter, in the name of secularism, tries to distance himself in public, he nevertheless recognizes its importance. For the supporters of this perspective, who seek to combine historical and comparative perspectives to grasp the complexity of the relationships between Vodoun and power, one cannot exist without the other in the Beninese context, mutually nourishing each other from their influences. respective.

Thus, 95% of our interviewees have a positive view of Vodoun, considering it as a cultural practice contributing to the sustainability of the State. It represents a distinctive characteristic of public intervention inherited from tradition, acting as a vector of progress and guarantor of fundamental rights. Although this point of view does not cover all social perceptions of Vodoun, it highlights the opinion of 15 interviewees who define themselves as modernists. For them, even if they do not see these practices as being useful, they recognize that Vodoun confers legitimacy to power in Benin. Indeed, a leader without Vodoun power is less feared, respected and less considered.

They admit, despite their attachment to foreign religions, that Vodoun has a constitutive scope comparable to an ideological superstructure which maintains close links with power in the Beninese context.

2.4 VODOUN AS A SOURCE OF LEGITIMACY FOR PUBLIC POWER

Vodoun, rooted for generations in Beninese culture, serves as an invaluable source of legitimacy for public authority. It gives a spiritual and historical dimension to this authority, thus strengthening its status within society. For example, Vodunn rituals are regularly incorporated into official ceremonies and inaugurations of leaders, symbolizing the continuity of tradition and the legitimacy of their mandate. Likewise, leaders who show a respectful understanding of Vodoun and its historical teachings are often better perceived by the population, thereby strengthening their power and influence.

The results of our study clearly reveal a discourse of legitimization of power through anchoring in the sacred. A remarkable illustration of this legitimization by Vodoun is found in the government of President Soglo during the 90s. This government stood out by recognizing the role of Vodoun in establishing its authority and justifying the importance given to endogenous cultural practices. Among these practices of political legitimization by Vodoun, our informants highlight the evocation of “ancestral manes”, which refers to endogenous entities.

During his inauguration, each Beninese president pronounces the phrase “Before God, the “manes of our ancestors, of the Nation and before the Beninese people, the sole holder of sovereignty”. This declaration recognizes the place of the sacred in the exercise of power. It is of crucial importance, because President Mathieu Kérékou had seen his swearing-in of April 4, 1996 annulled, precisely because he had failed to mention “the manes of our ancestors”, in accordance with his religious convictions. This passage from the inauguration speech, which precedes the policy of any Beninese head of state, has a constitutive significance by emphasizing the obligation of the first elected official to respect endogenous rites, thus establishing his role as mediator between the divinities, deities or gods, and the population.

Our sources frequently highlight acts of piety, particularly ritual ceremonies, performed by politicians when taking office, on official visits, during sacrifices, or during the organization of cultural, sporting or political events. These practices are also observed when carrying out their duties. According to our sources, many Beninese use Vodunn practices to legitimize their assumption of responsibility, whether at the start of their mandate, during their exercise, or during their appointment to a position or an administrative unit, thus evoking ritual ceremonies which were prescribed to certain Roman magistrates in history. It is striking to note the frequent reference to Vodoun proverbs in oral literature, as well as the support of dignitaries in the exercise of power, whether at a local or national level.

This predominance of the sacred, even of Vodoun, in Beninese society can only raise questions. It is likely that the use of Vodoun is largely explained by the fact that it constitutes not only an essential element of Beninese culture, but also a pillar of the political history of a people deeply attached to their endogenous values., where the invisible and the sacred are integral components of social organization and, by extension, of political power, as our various sources have revealed to us. Thus, it is plausible that aspirants to power return to their respective traditions to legitimize their public action. In any case, the observation of this attachment to Vodoun, made during this study, pushes us to recognize the importance of endogenous religious practices in the processes of legitimization of public power.

2.5 CURRENT CHALLENGES AND ISSUES IN VODOUN

Benin, as the cradle of Vodou, is faced with challenges and issues of great magnitude arising from the coexistence between this ancestral religious tradition and contemporary political power. This complex situation requires an in-depth analysis of religious anthropology to fully understand its impact on Beninese society. At the heart of this issue, we identify a series of major challenges, each requiring careful exploration from the perspective of religious anthropology.

By carefully analyzing this dynamic, the first major challenge that emerges from our observations concerns the obvious tensions between Vodoun and contemporary political power. Certainly, the growing tensions between Vodoun and modern political power occupy a central place within this complex dynamic, generating a climate of distrust and lack of cooperation at the highest level of the state.

On the one hand, Vodoun represents a source of power and leadership in certain regions of the country, where spiritual leaders exercise significant influence on populations and community life. On the other hand, the Beninese government seeks to promote secularism and the rule of law, thus coming into conflict with traditional Vodoun practices.

The government and its representatives or institutions, in many ways perceive Vodoun as a religion or practice that contradicts the beliefs and values of modern political power. The disparities between the belief systems of Vodoun and those of political power, according to politicians, generate ideological tensions, thus influencing development prospects, including in the areas of education, training and science., among others, justifying attempts to regulate it by public authorities.

The State has often been an active actor in the propagation of a campaign of stigmatization and distrust towards Vodoun, by tolerating or even encouraging unfavorable discourse towards it, particularly those conveyed by political-religious figures. At one time, the latter openly demonized this ancestral cultural expression, thus arousing distrust towards its followers. They even called for state intervention to restrict its practice, despite opposition from Vodoun supporters. This complex dynamic has deeply marked the relationship between Vodoun and political power in Benin. According to more than 98% of Vodoun religious interviewees, regulatory initiatives from the State, particularly with regard to public ceremonies and divinatory practices, are not well received. They believe that the central government misunderstands their role within society.

From another point of view, it is appropriate to underline the more global struggle which opposes ancestral religions, such as Vodoun, to revealed religions, notably Christianity and Islam. The latter are often seen as rivals, especially since they frequently characterize the ancestral religion as disruptive, hindering the development of the community and the well-being of citizens. These disparities in terms of religious beliefs and practices contribute to creating a complex context, where Vodoun spiritual leaders and their followers view attempts at state regulation as an intrusion into their spiritual domains and a challenge to their autonomy, both both religiously and culturally. It should be noted that traditionalists are demanding recognition of Vodoun in the name of the right to culture, affirming that this ancestral religious practice is a fundamental pillar of their identity and their cultural heritage. They consider that this recognition is essential to preserve the cultural and religious diversity of the country, and to guarantee respect for the rights of each citizen to practice their faith within the framework of established laws and standards.

The second challenge facing the Beninese government lies in the delicate quest for a balance between the promotion of secularism on the one hand, and respect for cultural and religious traditions, including Vodoun, on the other. Although policies have been developed to regulate Vodoun practices, their implementation is complex and sometimes controversial.

It is important to note that on a social level, Beninese society is deeply divided regarding Vodoun. For some, this religious tradition represents a fundamental pillar of cultural stability and a living link with their ancestors. From an anthropological point of view and by virtue of the right to culture, these beliefs and practices are seen as crucial elements in the preservation of identity and cultural heritage. However, other members of society prefer to embrace more contemporary religious practices, thus openly questioning the place and legitimacy of Vodoun. This diversity of beliefs and religious practices underlines the importance of respecting the right to cultural and religious diversity, as defended by international standards and the field of religious anthropology.

The way in which tensions between Vodoun and political power are addressed in Benin is deeply influenced by the cultural and political context, as well as by the nature of the regime in place. Since the post-1990s democratic transition, some governments have chosen to adopt policies of acceptance and recognition of Vodoun as a legitimate religious practice, thereby promoting peaceful coexistence between Vodoun and government authorities. On the other hand, in other cases, a more repressive approach was favored, aiming to reduce the influence of Vodoun or even to marginalize it, as happened during the revolutionary period of 1972-1989.

It is crucial to note that the repression during this period generated enormous social conflicts and flagrant violations of human rights, in particular the systematic persecution of Vodoun followers or supporters, subject to strong stigmatization and discrimination of all kinds. This approach did nothing to improve relations between Vodoun and the political power at that time. According to the testimonies of our informants, the power in place took advantage of this to weaken the influence of Vodoun and thus claim sole and so-called legitimacy in the country.

The outlook for the future depends largely on the approach that governments and societies take to manage these tensions. An anthropological approach proves valuable for understanding the impact of social developments on Vodoun practices and on relations with political power. Anthropology could thus explore how Vodoun beliefs and practices adapt in the face of social and political pressures, as well as the influence of modern political power on the perception of Vodoun and the relationships between its followers and the rest of society. To this end, it could therefore play a crucial role in raising awareness among the public and political decision-makers of the complexities of Vodoun, while encouraging respect for the religious and cultural rights of practitioners. Ultimately, the resolution of tensions between Vodoun and modern political power will depend on the

capacity of societies, particularly political leaders, to promote religious tolerance, to foster intercultural dialogue and to guarantee respect for human rights.

Thus, by addressing these issues in a constructive manner, Benin can progress towards a harmonious coexistence respectful of its religious and cultural diversity thanks to vodoun. This practice is indeed of crucial importance for the human and cultural development of the country, and its appropriate recognition and promotion can contribute to strengthening national identity while promoting the development of its cultural and spiritual wealth.

Regarding the essential issues of Vodoun, it is appropriate to recall the wisdom shared by the Vodoun dignitary, Dah VIDEKON, met in the Bohicon region, during our fieldwork.

"In the depths of Beninese societies, Vodoun, through its rituals, its culture and its sacred practices, embodies a true historical epic, an inestimable source of wisdom and teaching which weaves the fabric of development. It is the vigilant guardian ancient knowledge, an unwavering link with spirituality and an ode to ethnophilosophy. Beyond that, it constitutes the intangible and material jewel of the cultural heritage of the civilizations of Benin."

In light of this wisdom, it is clear that Vodoun in Benin is of profound importance, generating a multitude of issues that affect the educational, political, cultural and economic spheres. On an educational level, its integration into school programs and the promotion of traditional Vodoun education are crucial challenges for preserving ancestral knowledge. On the political level, the official recognition of Vodoun as a legitimate religion and the active participation of its followers in decision-making processes are major issues. On a cultural level, the preservation of the heritage linked to Vodoun and the exploration of its tourist potential are essential elements to preserve Beninese cultural identity. On the economic level, the development of religious tourism and the encouragement of cultural entrepreneurship based on Vodoun offer economic opportunities while promoting this practice. The way in which these issues are addressed will considerably influence the future of vodoun and its coexistence with modern political power.

2.6 VODOUN AND POWER: TWO IDEAL TYPES IN SEARCH OF IMPOSSIBLE AUTONOMY

An overview of the results of our ethnographic materials and our sources reveals that Vodoun is intimately linked to the political history of Benin and its social, economic and cultural organization. Fought during the revolutionary period, brought up to date by the democratic renewal, Vodoun is in the process of being revealed to humanity through the rupture. The paradigms of confrontation, opposition between endogenous religion and modern power tend to disappear, giving way to a cultural specificity whose anthropological dimension is to be valued in the era of globalization. Vodoun draws on power to expand and internationalize, while power relies on Vodoun to attract an increased number of tourists and generate foreign exchange that contributes to the country's growth. A highly unique religion among the religions practiced in Benin, Vodoun attempts to free itself from political power without succeeding and vice versa. The government seeks to mobilize Vodoun with the aim of purifying the country and anticipating potential disasters, events likely to compromise social cohesion, peace and development. This is reflected in particular in the use of endogenous practices such as Tofa, an annual public consultation with considerable political importance, thus becoming a compass for leaders according to their respective political level.

Bringing together the great dignitaries of the Fa or Ifa in the country, this full-scale consultation predicts the major events of the future year and makes sacrifices in the name of the entire nation. Public authorities observe, analyze and act unofficially to satisfy the psychological needs of populations. As our sources point out, power and Vodoun, even crossed by an apparent differentiation and hierarchy, evolve together even if the authorities in the name of secularism are not found during Vodoun rites, sacrifices and ceremonies. And to give strength to religion, the public authorities are trying to think of a new structuring of the Vodoun hierarchy through rights recognized by the constitution, in particular through the recognition of traditional chiefdoms and their processions of endogenous religious practices.

Such an approach to the question of the link between Vodoun and power makes it possible to underline the apparent agreement between two ideal types in an impossible quest for autonomy, fundamentally from the effects drawn from the action of the other on the other for the benefit of the community. We find here, without doubt, a common place, where the *trompe-l'oeil* relationship between "religious" fields and "order of life" is appreciated at its true value, with a desire for emancipation which proves impossible at first glance. with regard to their respective social, economic and cultural issues.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The conclusions arising from our field investigations as well as the ethnographic data that we have carefully collected highlight the profound richness and complexity of this anthropological reality in Benin, which constitutes Vodoun. They also reveal the diversity of opinions, influenced by individual experiences, cultural filters and personal motivations. All of these

elements contribute to sketching a landscape of interpretations of fascinating and nuanced complexity concerning the link between power and Vodoun, an intrinsically complex and multidimensional subject in the Beninese context.

In light of our investigations, it is clear that although Benin is a secular state, Vodoun remains a traditional religion deeply rooted in Beninese culture. This faith, mainly practiced by a large majority of the country's population, is based on polytheism and encompasses the veneration of a multitude of gods and spirits. Vodoun plays the role of an essential spiritual pillar within Beninese society, thus reflecting the complexity and depth of religious and cultural life in this country, according to our interviewees.

With an average age of between 40 and 70 years, the spiritual leaders, the "hunnongans", whom we interviewed, and imbued with Vodoun socialization, all converge in their points of view by unanimously affirming that Vodoun is the religion founder of the country, and that it evolves in perfect harmony with other religious beliefs, notably Christianity and Islam. For these spiritual leaders, Vodoun embodies a religion of freedom and religious tolerance, celebrating diversity and respecting varied religious practices. They emphasize that Vodoun not only promotes the coexistence of multiple belief systems, but also encourages the simultaneous practice of different religions. This religious flexibility reflects the inclusive nature of Vodoun, tailored to individual spiritual needs. In short, these "hunnongans" perceive Vodoun as a model of peaceful coexistence and religious open-mindedness, promoting mutual respect for differences and beliefs, in a society where spirituality occupies a central place.

Political leaders and executives, with their experience and erudition, categorically emphasize that Vodoun plays a fundamental role in the religious identity of the country. For them, Vodoun is a unifying force, working to bring together diverse spiritual expressions in a spirit of understanding and mutual respect. Overall, these intellectuals portray Vodoun as an essential pillar of Beninese religious culture, embodying interreligious harmony and tolerance, and thus contributing to maintaining peace and spiritual diversity within society.

From another point of view, the results of our investigations unanimously reveal that both intellectuals, politicians, executives and spiritual leaders are unanimous as to the existence of an intrinsic link between vodou and power in the country. Benign. According to their convergent opinions, this connection transcends the religious and political spheres, being of crucial importance in the sociocultural and political dynamics of the country. This consensus underlines the profound influence of Vodoun on the Beninese political scene, while highlighting the interdependence between these two entities.

With almost unanimous agreement, at 86% for intellectuals, 92% for politicians and executives, and 98% for spiritual leaders and followers, it is clear that Vodoun is widely recognized as a fundamental element contributing to the development of Benin in educational, social, cultural, political and economic facets. The consolidated data from our surveys on the relationship between Vodoun and power in Benin indisputably attest to the positive influence of Vodoun on multiple facets of society. They highlight the relevance of forging real synergies between the political sphere and Vodoun, granting recognition to the central role of this practice in the educational, social, cultural, political and economic development of the Beninese nation.

In the light of our investigations, it is clear, for our part, that Vodoun, far from being an agent of destabilization of power, its ideology or development policies, is of crucial importance in the preservation of the State. and its rich cultural heritage.

Although our survey results highlight the significantly positive impact that Vodoun has on various aspects of Beninese society, persistent issues remain of concern. Discrimination against Vodoun practitioners remains a worrying reality, despite the general acceptance of this religion. Stigma and prejudice persist against its followers, leading to social and economic discrimination that limits their employment and educational opportunities. In order to foster a fair society, it is essential to combat this discrimination and promote religious tolerance at all levels of society. Furthermore, it is imperative to consider the desire to control vodoun by the central power as an obstacle to its development and its impact on the development of the country.

In addition, the non-valuation of Vodoun religious practices and their absence in educational programs hinder the understanding and appreciation of this religion. However, Vodoun occupies a central place in Beninese culture, and its teaching could play a crucial role in preserving ancestral heritage or traditions for future generations. It is therefore imperative to integrate elements related to Vodoun into formal education and to promote awareness of this religious practice. It is also essential to take into account the demonization of Vodoun by other religions and the issue of intolerance that could result from this. Despite its harmonious coexistence with other beliefs, Vodoun is sometimes misunderstood or misinterpreted by certain religious communities. It is therefore imperative to promote interreligious dialogue and mutual understanding to overcome these prejudices and foster peaceful coexistence between different beliefs.

4 CONCLUSION

Throughout this study, it has been demonstrated that Vodoun maintains close ties with politics. Through in-depth historical, sociological, anthropological and philosophical analyses, the results of our investigations highlight the extent of the positive impact that Vodoun has on various aspects of Beninese society, including its influence on the religious sphere, where he maintains significant links.

Establishing itself as a religious anthropological reality deeply rooted within Beninese society, Vodoun exerts an influence of capital importance both on individual development and on collective progress. This manifests itself particularly significantly in the dynamics between the central power and traditional religious leaders. The deep roots of this belief and spiritual practice in the cultural fabric of Benin make it one of the undeniably essential elements in the daily life of the population. It plays a crucial role in promoting the spiritual well-being of the population and facilitating constructive collaboration between government authorities and custodians of religious tradition. Consequently, it represents a fundamental pillar of the socio-cultural identity of the country.

Since the advent of renewed democracy, new dynamics have emerged, marked by collaboration and mutual respect now anchored in governance practices. This strengthened partnership between political power and holders of traditional spiritual knowledge demonstrates a positive evolution towards more inclusive governance attentive to the fundamental cultural and spiritual values of the country.

Also, it should be emphasized that Vodoun in Benin is intimately intertwined with the exercise of power, acting in the name of the deities chosen by citizens within the community and by magistrates. This is tangibly reflected in the evocation of ancestors during presidential inaugurations since 1990. This deep connection between Vodoun and political authority highlights the way in which spirituality and governance combine in society. It reveals that legitimacy and leadership are guided by divine influences, legitimized by the choice of the people and recognized by leaders.

Despite general acceptance of Vodoun as a religion, stigma and prejudice persists against its practitioners, leading to social and economic discrimination, thereby restricting their employment and educational opportunities. In order to promote an equitable society, it is essential to fight against these discriminations, stigmatizations, prejudices and to promote religious tolerance at all levels of society.

In addition, the non-valuation of Vodoun religious practices and their absence in educational programs hinder the understanding and appreciation of this religion. However, Vodoun occupies a central place in Beninese culture, and its teaching could play a crucial role in preserving ancestral heritage or traditions for future generations. It is therefore imperative to integrate elements related to Vodoun into formal education and to promote awareness of this religious practice. It is also essential to take into account the demonization of Vodoun by other religions and the issue of intolerance that could result from this. Despite its harmonious coexistence with other beliefs, Vodoun is sometimes misunderstood or misinterpreted by certain religious communities. It is therefore imperative to promote interreligious dialogue and mutual understanding to overcome these prejudices and foster peaceful coexistence between different beliefs. In this context, it becomes imperative that Vodoun positions itself to meet contemporary challenges in terms of development, protection of individual rights and freedoms, while playing an essential role in cultural promotion in the era of globalization.

Ultimately, Vodoun, as an essential pillar of Beninese culture and spirituality, must actively collaborate with central power to overcome the challenges hindering its full integration and understanding within society. This approach will help preserve this precious cultural heritage while establishing a climate of tolerance, respect and mutual understanding between the various religious beliefs in Benin. Although Vodoun is widely accepted and recognized in Benin, persistent challenges such as discrimination, valorization and integration into government policy require special attention. The creation of a Vodoun museum in Porto-Novo by the Talon regime and the integration of Vodoun into education could greatly contribute to solving these problems while promoting better understanding and increased respect for this traditional religion, as well as by encouraging an environment of tolerance and respect between the various religious beliefs present in Benin.

From this perspective, it is essential that the State avoids seeking to restrict the influence of Vodoun, opting instead for cooperation in policies aimed at the harmonious management of individual diversity. This would strengthen national unity while preserving the richness of Beninese religious culture.

REFERENCES

- [1] Acquaviva, S. & Pace, E. (1994). *Sociology of religions*. Les Éditions du Cerf.
- [2] Adoukonou, B. (1980). Milestones for an African theology. Essay on a Christian hermeneutics of Dahomean Vodun. Édition Lethielleux, Coll. «The Sycamore».
- [3] Aguessy, H. (1972). Oral tradition and structure of thoughts: Essay on methodology. In *Cahiers d'histoire historique-Unesco*, vol 4. XIV, n°2.
- [4] Aguessy, H. (1972). African religions as a source of civilization values. *Présence Africaine*.
- [5] Aguessy, H. (1985). *African religion and balance of power*. Conference on the survivals of African religious traditions in Caribbean and in Latin America, without Luis de Moranhao.
- [6] Augier, R. (1995). *Vodoun in Benin*. Bergin & Garvey, 220 p.
- [7] Blier, S. P. (1995). *African Vodun: Art, Psychology, and Power*, University of Chicago Press, 304 p.
- [8] Cosentino, D. J. (1998). *Vodou Things: The Art of Pierrette Alarie*.
- [9] Deren, M. (1953). *Divine Horsemen: the Living Gods of Haiti*, Thames & Hudson, 314p.
- [10] Dos Santos, J. E. & Dos Santos, D. M. (1993). The Nago religion as generator and reserve of cultural values in Brazil. In *Vodoun-Ouidah 92*, *Présence Africaine*, pp 157-173.
- [11] Falcon Paul, R.P. (1970). Religion of Vodoun. In *Études Dahoméennes*, N° 18-19, Irad.
- [12] Hounyoton, H. B. & Hounghinin, R. A. (2017). Imaginaries and representations of vodun in a post-democratic context in Benin. *Revue Échanges*, vol. 2, n°009.
- [13] Kligueh, G. B. (2011a). *The creative myths of Vodoun*, Volume II, Anibwe.
- [14] Kligueh, G. B. (2011b). Vodoun through its encyclopedia: Afà geomancy, Anibwe.
- [15] Rivière, C. (2003). *Socio-anthropology of religions*. Armand Colin.
- [16] Sartre, R. (1993). The Vodun in the cultural, social and political life of South-Dahomey. In *Vodoun-Ouidah 92*, *Présence Africaine*, pp 199-212.
- [17] Trouillot, M-R (1995). *Silencing the Past: Power and the Production of History*. Beacon Press, 208 p.
- [18] Verger, P (1953). The cult of the Vodoun of Abomey. In *Études Dahoméennes*, IFAN, Government of Dahomey, Porto Novo, VIII, 1953, pp. 19-24.
- [19] Zinzindohoué, C. D. B. (2014). The religious and cultural fact of Vodún in Benin.

Caractérisation pétro-structurale des dépôts oligocènes du Continental terminal 3 (Ct³) des secteurs de Tondibia, «Rhodésie» et Kongou (région de Niamey, Niger occidental)

[Petro-structural characterisation of the Oligocene deposits of Continental Terminal 3 (Ct³) in the Tondibia, «Rhodesia» and Kongou sectors (Niamey region, western Niger)]

Karimou Laouali Idi¹, Hassan Ibrahim Maharou², Daouda Illia Allo³, Karimou Dia Hantchi⁴, Aminou Maâzou Abdoulaye², and Moussa Konate²

¹Université Abdou Moumouni, Ecole Normale Supérieure, Département de SVT, Laboratoire de géologie: Equipe Bassin et Géoressources, Niamey, Niger

²Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de géologie, Laboratoire de géologie: Equipe Bassin et Géoressources, Niamey, Niger

³Université André Salifou, Faculté des Sciences et Techniques, Département de géologie, Laboratoire de Géoressources et Géosciences de l'environnement (LGGE), Zinder, Niger

⁴Université Dan Dicko Dankoulodo, Faculté des Sciences et Techniques, UMR-SERMUG, Département de Géologie, Laboratoire de géologie, Maradi, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study was carried out in the south-western part of Niger. The study area corresponds to the Niamey region, which straddles the south-eastern edge of the West African Craton and the south-western terminus of the Iullemeden Basin. The general objective of this work is to determine the context in which the Ct³ deposits were emplaced in the Tondibia, «Rhodesia» and Kongou sectors. Specifically, the aim is to provide a petrographic description of the Ct³ deposits and to characterise the deformation that affected these deposits. The methodology used is based on the macroscopic and microscopic petrographic description of the samples taken and on structural measurements. Three sedimentological sections were taken from the three outcrops selected (Tondibia, Rhodesia and Kongou). The petrographic study of the Continental Terminal 3 (Ct³) deposits identified several facies whose sedimentological characteristics and number varied according to the sectors studied. The facies identified include: kaolinitic sandstones; ferruginous oolitic sandstones; sandstone clays; conglomeratic sandstones; clays intercalated with ferruginous oolitic sandstones; and iron oxide nodule conglomerates. Microscopic observations made it possible to identify several forms of oolitic concretions, namely: type α oolites (Oα), type γ oolites (Oγ), proto-oolites (PO), oolites of type γ (Oγ), oolites of type γ (Oγ), oolites of type γ (Oγ) and oolites of type γ (Oγ). proto-oliths (PO) and composite ooliths (OC). Tectonic analysis has revealed a NW-SE and NE-SW compressive phase of Oligo-Miocene age that affected the deposits of Terminal Continental 3 (Ct³).

KEYWORDS: Iullemeden Basin, Terminal Continental 3, Oligo-Miocene ferruginous oolites, termite tubules.

RESUME: La présente étude a été réalisée dans la partie sud-ouest du Niger. La zone d'étude correspond à la région de Niamey, qui est située à cheval entre la bordure Sud-Est du Craton Ouest Africain et la terminaison sud-ouest du bassin des Iullemeden. L'objectif général de ce travail est de déterminer le contexte de mise en place des dépôts du Ct³ dans les secteurs de Tondibia, «Rhodésie» et Kongou. Spécifiquement, il s'agit: de faire une description pétrographique des dépôts du Ct³ et de caractériser la déformation ayant affecté ces dépôts. La méthodologie mise en œuvre est basée sur la description pétrographique macroscopique et microscopique d'échantillons prélevés ainsi qu'une exploitation de mesures structurales. Trois coupes sédimentologiques ont été levées sur les trois affleurements retenus (Tondibia, «Rhodésie» et Kongou). L'étude pétrographique des dépôts du Continental terminal 3 (Ct³) a permis de distinguer plusieurs faciès dont les caractéristiques sédimentologique et le nombre varient selon les secteurs étudiés. Parmi les faciès identifiés on peut citer entre autres: Grès kaolineux; Grès à oolithes ferrugineuses; Argiles gréseuses; Grès conglomératiques, Argiles présentant des intercalations des grès oolithiques ferrugineux, Conglomérats à nodules d'oxyde fer. Les observations microscopiques

ont permis d'identifier plusieurs formes de concrétions oolithiques à savoir: les oolithes de type α (O α), les oolithes de type γ (O γ), les proto-oolithes (PO), les oolithes composites (OC). L'analyse tectonique a permis de mettre en évidence une phase compressive NW-SE et NE-SW d'âge l'oligo-miocène qui a affecté les dépôts du Continental terminal 3 (Ct³).

MOTS-CLEFS: Bassin des lullemeden, Continental terminal 3, Oolithes ferrugineuses Oligo-miocène, tubulures termitiques.

1 INTRODUCTION

Le Continental terminal (Ct), qui clôture l'histoire des épandages continentaux méso-cénozoïques, est un terme créé par [23] pour désigner le troisième ensemble Continental détritique qu'il a distingué dans les formations géologiques du Sahara. Cet auteur a distingué trois séries continentales en Afrique de l'Ouest: (1) la série continentale de base, située à la base du Paléozoïque inférieur, d'âge cambro-ordovicien; (2) la série dite du "Continental intercalaire", qui est l'équivalent des Grès de Nubie, se trouvant entre les séries marines du Carbonifère et les séries marines du Cénomanién supérieur et (3) la série du Continental terminal, correspondant aux dépôts tertiaires qui se sont mis en place au-dessus des formations marines du Paléocène-Yprésien. Le Continental terminal a une grande extension géographique en Afrique de l'Ouest et du Nord. Selon les régions, son épaisseur varie de 60 m au Bénin (secteur de Madékali) [4], [22] à 450 m au Niger (secteur de Dogondoutchi) [16], [1]. Au Niger, la série détritique postérieure au Tertiaire marin a successivement été désignée sous le nom de "Grès du Niger" par [20], puis de "Grès du Moyen-Niger" par [32] et [30] et enfin de Continental terminal par [14]. Le Continental terminal du bassin des lullemeden affleure sur plus de 90 000 km² [16]. Plusieurs travaux ont porté sur la lithostratigraphie du Continental terminal. Les plus importants sont ceux de [40], [14], [12], [43] et [16]. [10] et [24] ont apporté d'importantes précisions qui ont permis de redéfinir le Continental terminal. Dans la partie occidentale du Niger, la formation du Continental terminal représente la dernière série des dépôts de comblement du bassin des lullemeden [14]. En effet, [14] a défini trois ensembles au sein de cette formation, qui sont de la base au sommet: (1) la série sidérolithique de l'Ader Doutchi (Ct¹); (2) la série argilo-sableuse à lignites (Ct²) et (3) la série des grès argileux du Moyen Niger (Ct³). Dans la région de Niamey, seule la formation du Continental terminal 3 est observable. Ces dépôts, constitués d'une alternance de grès argileux et de grès oolithiques ferrugineux à niveaux indurés, reposent soit en discordance de ravinement sur les dépôts néoprotérozoïques soit en discordance majeure sur le socle paléoprotérozoïque (birimien) [18], [21], [29]. L'âge des dépôts du Ct³ a été considéré comme étant post-Éocène moyen et anté-Quaternaire [24], [25]. [9], [22] ont attribué à la série du Continental terminal un âge oligo-miocène. La majorité des travaux antérieurs concernant la formation du Ct³, réalisés dans la partie occidentale du bassin des lullemeden, se sont limités à la description des coupes sédimentologiques et à l'analyse des déformations, en termes de déformations cassante et ductile [15], [16], [29]. Toutefois, il ressort de cette revue bibliographique que plusieurs aspects restent à compléter dans la région de Niamey, concernant notamment la pétrographie et la déformation des dépôts du Ct³. L'objectif général de ce travail est de déterminer le contexte de mise en place des dépôts du Ct³ dans les secteurs de Tondibia, "Rhodésie" et Kongou. Spécifiquement, il s'agit: de faire une description pétrographique des dépôts du Ct³, d'identifier leurs paléoenvironnements de dépôts et de caractériser la déformation ayant affecté ces dépôts.

2 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les sites concernés par la présente étude se trouvent sur la rive gauche du *Fleuve Niger* dans la région de Niamey, qui est localisée au Sud-Ouest du Niger entre 13°28' et 13°35' de latitude-Nord et 02°03' et 02°12' de longitude-Est. Il s'agit du site de Tondibia (N: 13°35'10" et E: 2°00'31"), de "Rhodésie" (N: 13°28'17" et E: 2°09'33") et de Kongou (N: 13°37'19" et E: 2°11'18") (**Fig 1**).

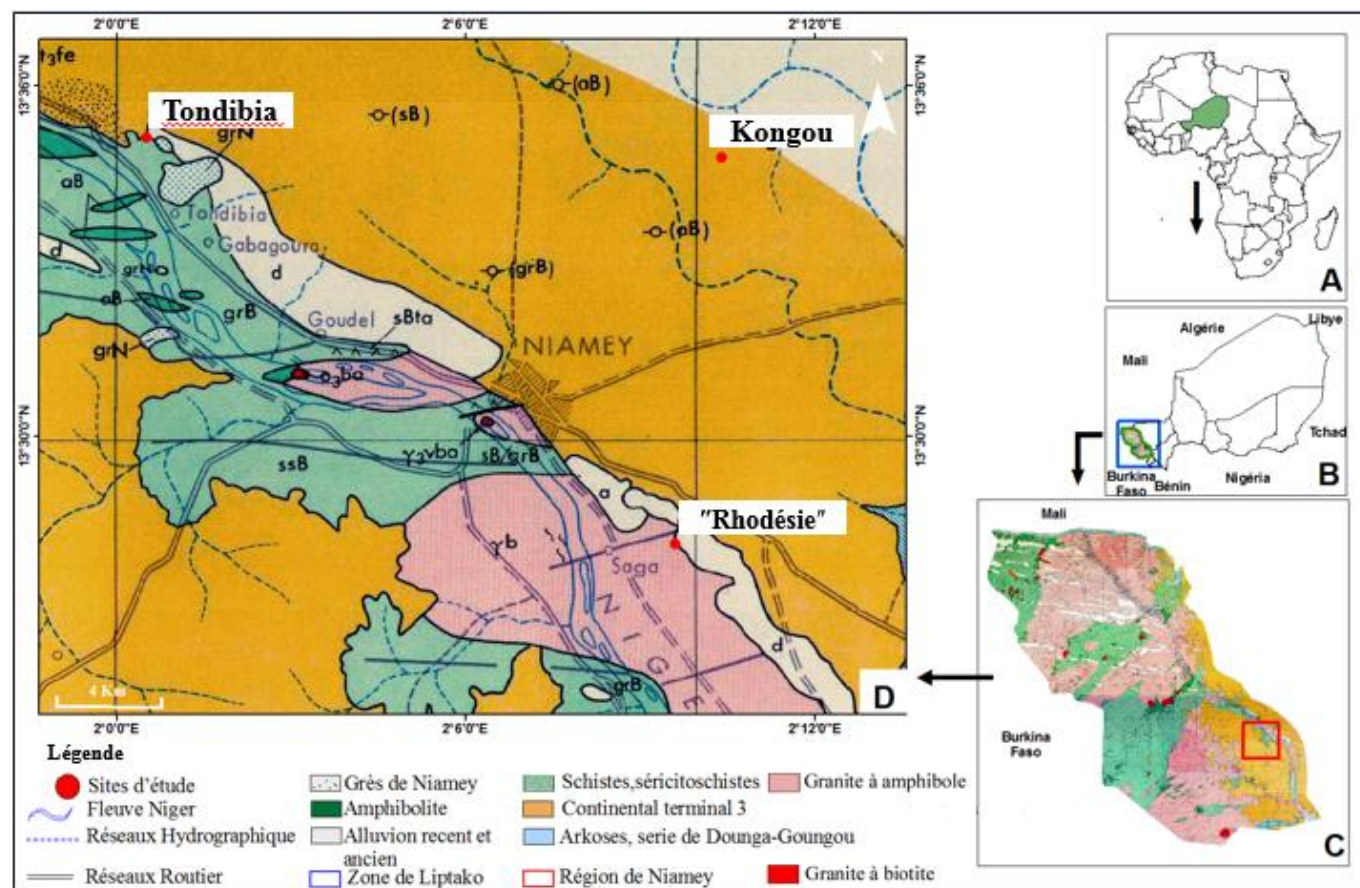


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude.

A: Localisation du Niger sur la carte d'Afrique B: Localisation de la Province géologique du Liptako sur la carte du Niger; C: Carte géologique de Liptako Nigérien [27]; D: Carte géologique de la région de Niamey (extrait de la Carte de [27]).

3 CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Du point de vue géologique, la région de Niamey fait partie du Liptako nigérien qui correspond à la bordure Nord-Est de la dorsale de Man (domaine birimien de la dorsale de Man) [8], [35], [36], [37], [34], [38]. La limite Est du Liptako correspond au bassin des Iullemmeden (Fig 2). Au Nord, il est limité par le bassin du Gourma et au Sud-Est par celui des Volta (Fig 2).

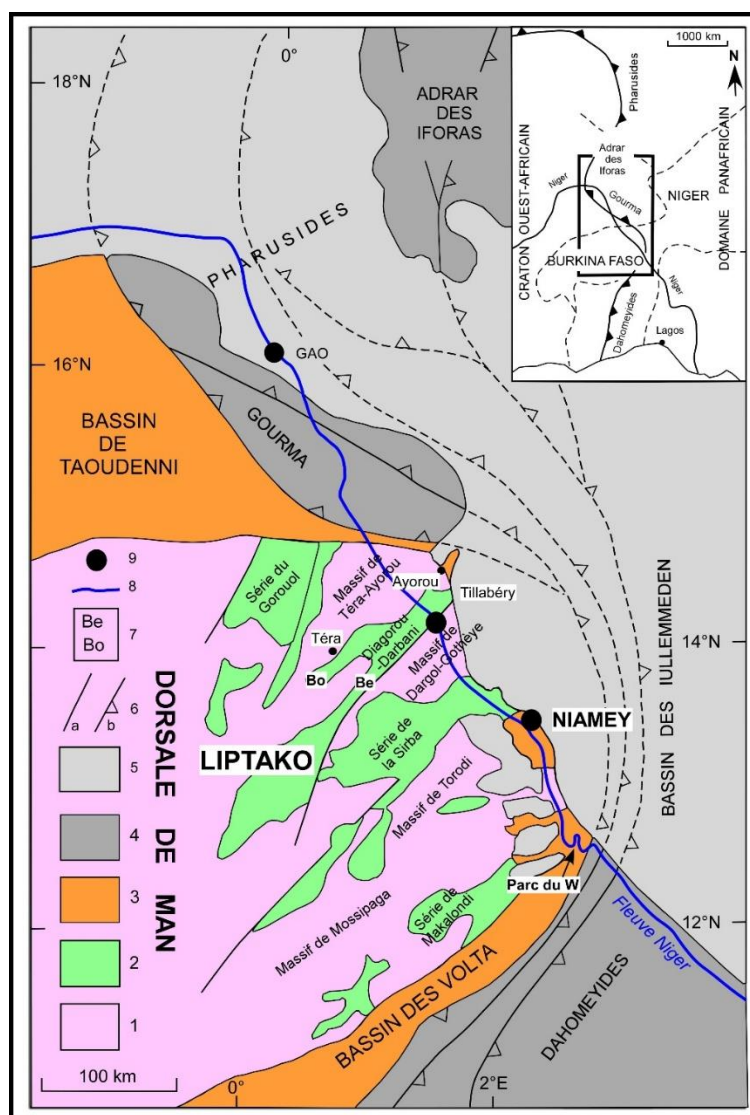


Fig. 2. Localisation de la région de Niamey dans le cadre structural du Liptako ([3] modifié)

(1) Massifs granito-gneissiques paléoprotérozoïques, (2) Ceintures schisteuses paléoprotérozoïques, (3) Formations néoprotérozoïques et paléozoïques des bassins de Taoudenni et de Volta, (4) Formations impliquées dans l'orogène panafricain (600 Ma), (5) Formations méso-cénozoïques à quaternaires du bassin des ullemmeden, (6) Failles (a) et plans de charriage des nappes panafricaines (b), (7) Branches est et ouest de la ceinture verte, (8) Fleuve Niger, (9) Villes.

Deux grands ensembles géologiques ont été distingués dans le Liptako nigérien ([26], [3], [18], [13], [29], [17]):

- (1) Le socle d'âge paléoprotérozoïque (2300 à 2000 Ma [35], affleurant sur les 2/3 de la région;
- (2) Une couverture sédimentaire qui regroupe des terrains infracambriens (néoprotérozoïques), oligocènes et quaternaires.

3.1 FORMATIONS PALEOPROTEROZOÏQUES

Les formations paléoprotérozoïques (birimiennes) du Liptako nigérien sont constituées par une alternance de roches vertes et de plutons granitoïdiques [26], [5], [2], [35], [13], [17]. Les ceintures de roches vertes sont constituées de metabasites, d'amphibolites, de roches grenues ultramafiques à mafiques souvent transformées en talcschistes et chloritoschistes, de sédiments et de volcano-sédiments métamorphisés dans le faciès schistes verts à amphibolites [26], [39], [5], [2], [35]. Les plutons granitoïdiques sont composés principalement de granites, de TTG (Tonalite, Trondhjémite, Granodiorite), de diorites et de diorites quartziques, de la monzonite et localement de la syénite [26], [2], [35], [39], [37]. Deux (02) phases de déformation D1 et D2 ont été mises en évidence par [37] dans les formations paléoprotérozoïques du Liptako nigérien.

(1) La phase D1, paléoprotérozoïque, comporte 3 étapes: D1a, D1b et D1c.

- L'étape D1a, ductile à semi-ductile, à raccourcissement NW-SE, est responsable du développement de la schistosité/foliation d'orientation moyenne NE-SW. Cette étape D1a se termine par la mise en place de granitoïdes tardi-cinématiques, dont la remontée est facilitée par la réactivation normale dextre de grands couloirs cisailants d'orientation N45° [37].
- L'étape D1b, semi-ductile, à raccourcissement N60° à E-W, est caractérisée par la réactivation dextre des grands couloirs cisailants et par le fonctionnement senestre des failles N125° à N145° [37]. Dans ces couloirs, la schistosité/foliation ainsi que les filons de quartz présentent une géométrie sigmoïde en accord avec une mylonitisation [37].
- Quant à l'étape D1c, relativement cassante, à raccourcissement globalement N-S, est marquée par la réactivation senestre des grands couloirs cisailants ([37].

(2) La phase D2, franchement cassante (vraisemblablement post-paléoprotérozoïque), est caractérisée par des extensions d'orientation NW-SE et NE-SW.

3.2 COUVERTURE SEDIMENTAIRE

La couverture sédimentaire du Liptako nigérien comprend des formations: infracambriennes, oligocènes du Continental terminal et superficielles du Quaternaire [37], [29], [21]. Les formations infracambriennes marquent la bordure orientale du Craton Ouest Africain. Elles affleurent du Nord au Sud, respectivement dans les régions de: Firgoun (grès de Firgoun), de Gassa (grès de Gassa), de Niamey (grès de Niamey, objet de la présente étude) et de Kirtachi-Tamou (grès de Kirtachi) ([37], [21]. Les dépôts du Continental terminal représentent les termes supérieurs du bassin des Lullemmeden [14]. En effet, [14] a défini 3 ensembles au sein de cette formation. Il s'agit, de la base au sommet, de la série: (1) sidérolithique de l'Ader Doutchi (Ct1), (2) argilo-sableuse à lignites (Ct2) et (3) grès argileux du Moyen Niger (Ct3). Seul ce dernier ensemble (Ct3) affleure dans le Liptako nigérien [18], [29]. Il s'agit d'une formation d'âge oligocène [7], essentiellement constituée d'une alternance de grès argileux et de grès oolithiques ferrugineux à niveaux indurés, plus ou moins associés à des tubulures termitiques [29]. Le Ct3 repose en discordance de ravinement sur les dépôts infracambriens et/ou en discordance majeure sur le socle paléoprotérozoïque [18], [29], [21]. Les formations superficielles sont constituées d'alluvions, de dépôts latéritiques ferrugineux plus ou moins remaniés et des dunes, d'âge quaternaire à actuel, qui recouvrent le Continental terminal 3 ou le socle paléoprotérozoïque [14], [37], [11], [18], [29].

4 METHODOLOGIE

L'approche méthodologique adoptée dans cette étude comprend deux grandes étapes:

- (1) L'extraction des structures linéamentaires identifiables à partir de l'image SRTM par la technique de télédétection (avec les logiciels Envi 5.1 et ArcGIS 10.3). Cette extraction des réseaux de fractures, s'appuyant sur les observations de terrain, a abouti à la validation de la carte linéamentaire.
- (2) Les analyses pétrographiques structurales. L'analyse pétrographique a consisté en une description macroscopique des roches (au moyen d'une loupe de poche). Cette analyse a permis de distinguer les différents lithofaciés de chaque affleurement. Les différentes structures sédimentaires ont aussi été identifiées et des échantillons ont été prélevés pour chaque type de lithofaciés (au moyen d'un marteau de géologue). Trois coupes sédimentologiques ont été levées soit une coupe par secteur (**Fig 3**). L'analyse tectonique de la formation du Continental terminal 3 (Ct3) réalisée dans la zone d'étude a consisté à mesurer les différentes structures de déformations. Les plans de fractures mesurés ont été ensuite traités à l'aide du programme Stéréonet 10 mis au point par [6].



Fig. 3. Disposition des coupes sédimentologiques réalisées dans les secteurs de Tondibia, Kongou et Rhodésie sur une image Google Earth de 2023 de la région de Niamey.

5 RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE

5.1.1 COUPE DE TONDIPIA

D'une épaisseur de 5,5 m, la coupe de Tondibia a été levée au Nord-Ouest de la ville Niamey sur la rive gauche du *Fleuve Niger*. Les coordonnées géographiques du point de lever de coupe sont: N13°35'10", E2°00'31". L'analyse sédimentologique a permis de distinguer un seul (1) faciès, représenté par des grès oolithiques ferrugineux. Trois niveaux ont été distingués dans ces grès (Fig 5).

- Le niveau 1 a une puissance d'environ 3,5 m. Il est constitué de grès moyen à grossier oolithiques ferrugineux à matrice argileuse, de couleur bariolée (jaunâtre, rougeâtre, blanchâtre). Les grains de quartz ont des formes anguleuses à subanguleuses. Ce niveau présente des tubulures termitiques de taille centimétrique (Fig 4.A). Le niveau 2, a une épaisseur d'environ 1 m, correspond à des grès fins à moyens oolithiques, à ciment ferrugineux, induré de couleur sombre (Fig 4.A). Les oolithes sont isogranulaires (taille mm). Les grains de quartz ont des formes anguleuses à subanguleuses.
- Le niveau 3, d'environ 50 cm de puissance, il est représenté par des grès conglomératiques, à graviers de quartz, les formes subanguleuses sont prédominantes. (Fig 4.B). Ce niveau présente des tubulures termitiques de taille centimétrique.

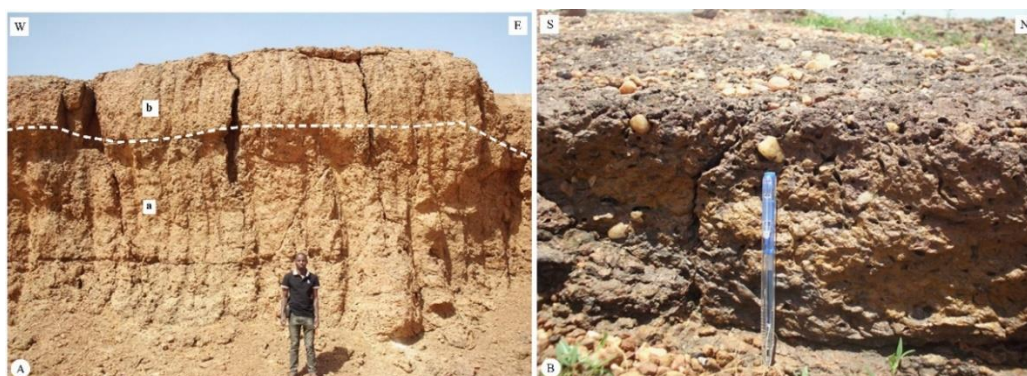


Fig. 4. Différents faciès observés de la base au sommet de la coupe Tondibia. A: a) Grès argileux oolithiques ferrugineux, b) Grès oolithiques ferrugineux; B: Grès conglomératiques.

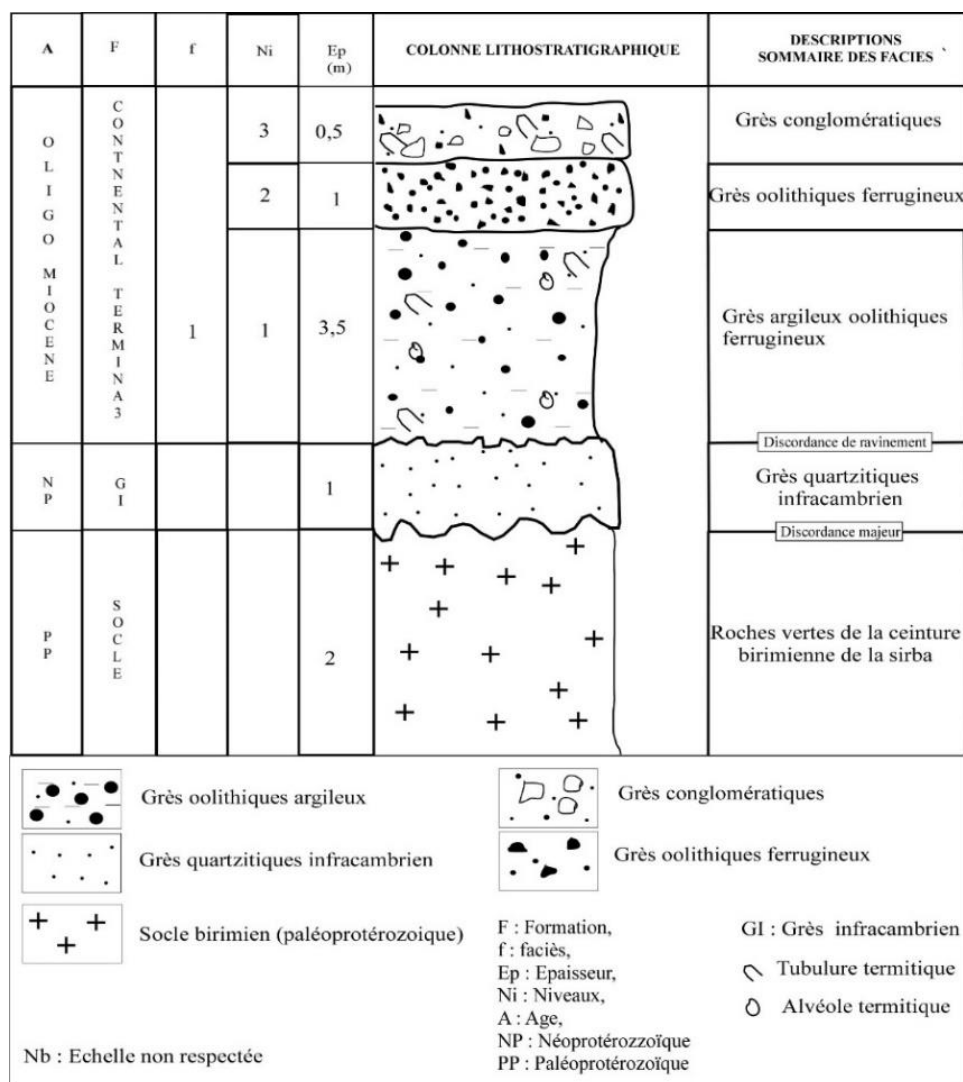


Fig. 5. Coupe sédimentologique du secteur de Tondibia.

5.1.2 COUPE DE "RHODESIE"

D'une épaisseur d'environ 12 m, la coupe sédimentologique de "Rhodésie" a été levée sur la rive gauche du *Fleuve Niger*. Les coordonnées géographiques du point de lever de coupe sont: N13°28'17", E2°09'33". L'analyse sédimentologique a permis de distinguer quatre (4) faciès (Fig 9), comprenant de la base au sommet: (1) Grès kaolineux; (2) Grès à oolithes ferrugineuses; (3) Argiles gréseuses; (4) Grès conglomératiques. Ces quatre (4) faciès ont été subdivisés en 8 niveaux.

(1) Grès kaolineux.

Ce type de faciès est représenté par le niveau 1:

- Le niveau 1, dont la puissance est estimée d'environ 2 m, est constitué de grès moyens à matrice argileuse. Les grains de quartz ont des formes anguleuses à subanguleuses. Ce niveau présente des tubulures termitiques de taille millimétrique (Fig 6).

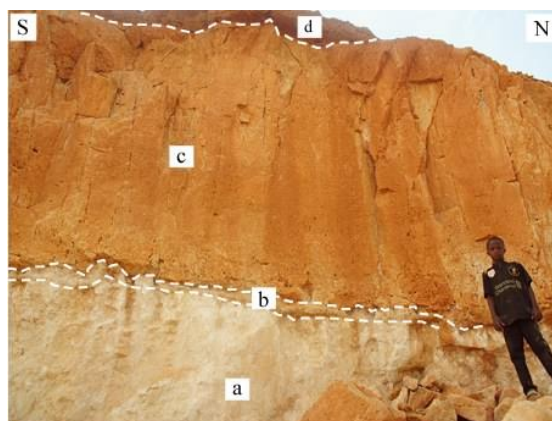


Fig. 6. Différents faciès observés à la base de la coupe de "Rhodésie". a) Socle, b) Discordance c) Grès kaoliniteux (niveau 1), d) Grès argileux oolithiques ferrugineux correspond à la base du niveau 2.

(2) Grès à oolithes ferrugineuses

Dans ces grès oolithiques ferrugineux, cinq (05) niveaux ont été distingués numérotés de 2 à 6:

- Le niveau 2, a une puissance d'environ 2 m. Il est constitué de grès moyens à grossiers oolithiques ferrugineux à matrice argileuse, de couleur bariolée (**Fig 7a**). Il présente de nombreuses alvéoles. Les grains de quartz ont des formes anguleuses à subanguleuses.
- Le niveau 3, d'une épaisseur de 20 cm, est constitué des graviers de taille supérieure à 2 mm, à matrice argileuse (**Fig 7b**).
- Le niveau 4, a une épaisseur d'environ 50 cm, correspond à des grès fins à moyens, oolithiques, à ciment ferrugineux, induré de couleur sombre (**Fig 7c**).
- Le niveau 5, a une puissance de 20 cm (**Fig 7C**). Il est constitué de grès fins, oolithiques ferrugineux à matrice argileuse, de couleur rougeâtre. Ce niveau présente de nombreuses alvéoles termitiques.
- Le niveau 6, d'une épaisseur de 70 cm, correspond à des grès fins à moyens oolithiques, à ciment ferrugineux, à nombreuses alvéoles (**Fig 7B**).



Fig. 7. Différents faciès observés dans la partie médiane de la coupe de "Rhodésie".

A: a) Grès argileux oolithiques ferrugineux (niveau 2), b) Argiles remaniées à graviers (niveau 3), c) Grès oolithiques ferrugineux (niveau 4); B: Grès oolithique ferrugineux (niveau 6); C: Grès argileux oolithiques ferrugineux (niveau 5).

(3) Grès Argileux

Ce type de faciès est représenté par le niveau 7:

- Le niveau 7, a une puissance de 3 m environ (**Fig 8A**). Il est constitué de grès fins argileux, tendres, de couleur bigarré (blanchâtre et jaunâtre). Ce niveau présent aussi des tubulures termitiques de taille centimétrique ainsi que de nombreuses alvéoles termitiques.

(4) Grès conglomératiques

Ce type de faciès est représenté par le niveau 8.

- Le niveau 8, d'une puissance de 20 cm environ, est représenté par des grès conglomératiques, à graviers de quartz, les formes subanguleuses sont prédominantes (**Fig 8B**).

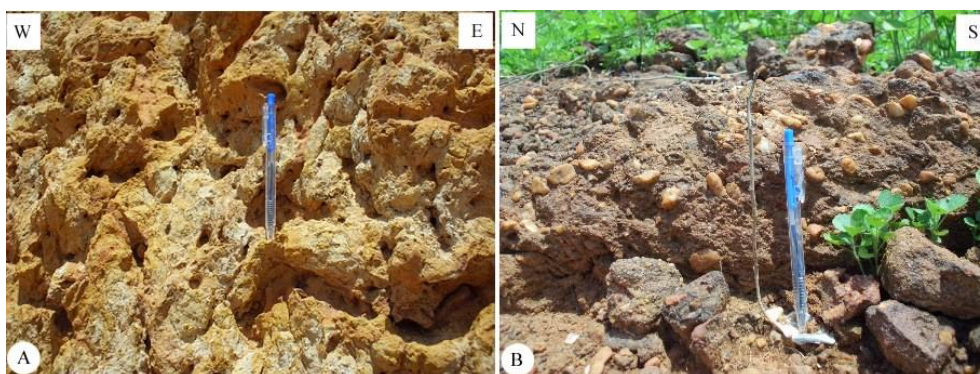


Fig. 8. Différents faciès observés au sommet de la coupe de "Rhodésie.

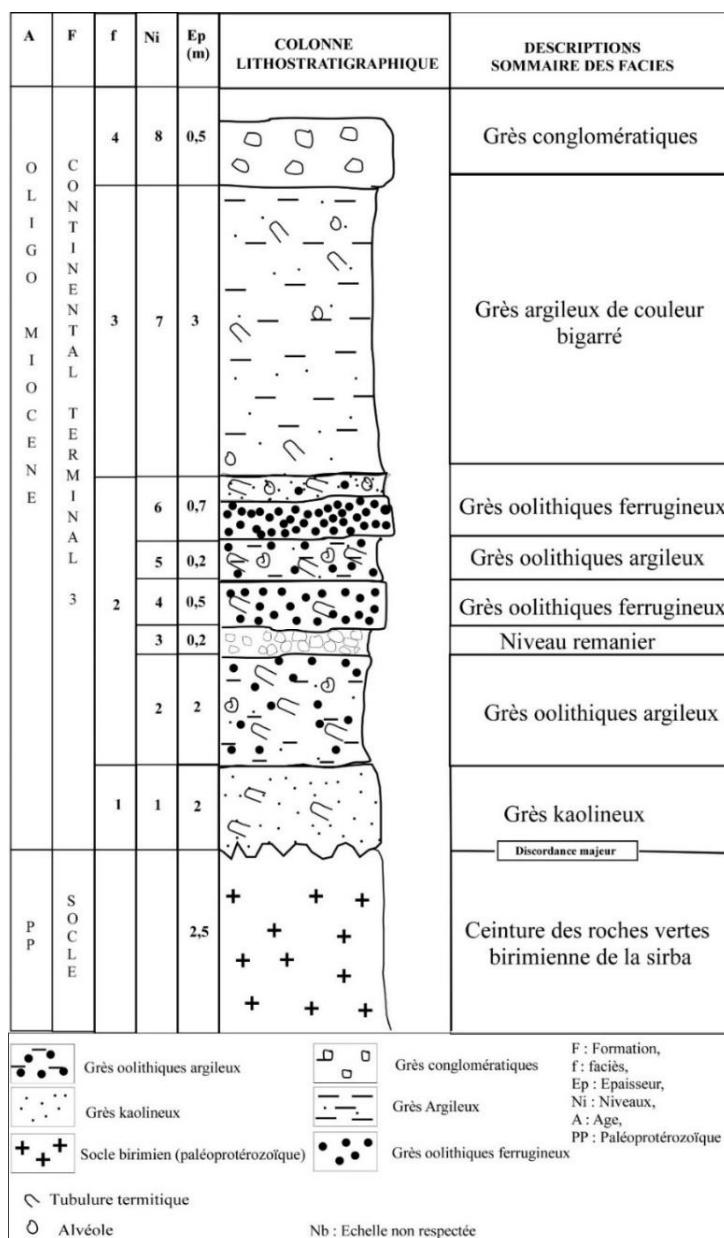


Fig. 9. Coupe sédimentologique du secteur de "Rhodésie".

5.1.3 COUPE DE KONGOU

D'une épaisseur d'environ 12,1 m, la coupe sédimentologique de Kongou a été levée au Nord-Est du village de Kongou sur la rive gauche du *Fleuve Niger*, non loin de la mare de Kongou a pour coordonnées GPS: N13°37'19"; E2°11'18". L'analyse sédimentologique a permis de distinguer deux (2) faciès, comprenant de la base au sommet: (1) Argiles présentant des intercalations des grès oolithiques ferrugineux et (2) Conglomérats à nodules d'oxyde fer. Ces deux (2) faciès ont été subdivisés en 5 niveaux (Fig 12).

(1) Argiles avec des intercalations des grès oolithiques ferrugineux, quatre niveaux ont été distingué dans ces argiles.

- Le niveau 1, a une épaisseur de 8 m environ. Il est constitué d'argiles gréseuses, tendres, de couleur bariolée (blanchâtre, jaunâtre et rougeâtre), présentant une alternance des niveaux argileux et des niveaux ferrugineux (Figure 10A). Ce niveau renferme aussi des alvéoles termitiques.
- Le niveau 2, d'une puissance de 80 cm, correspond à des grès fins à moyens, oolithiques à ciment ferrugineux, plus ou moins induré de couleur sombre (Fig 10B).

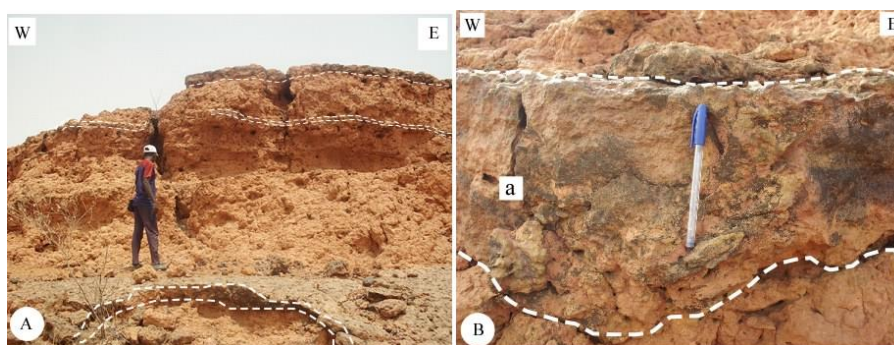


Fig. 10. Différents faciès observés à la base de la coupe de Kongou. A: Grès argileux bariolés présentant des intercalations des grès ferrugineux (niveau 1); B: a) Grès oolithiques ferrugineux (niveau 2).

- Le niveau 3, a une épaisseur de 2 m environ (**Fig 11c**). Il est constitué d'argiles gréseuses de couleur rougeâtre. Les grains de quartz qu'il renferme sont de taille inframillimétrique, des formes arrondies à subarrondies.
- Le niveau 4, dont la puissance est de 70 cm, correspond à des cuirasses gréseuses, oolithiques, à ciment ferrugineux. (**Fig 11d**).

(2) Conglomérats à nodules.

Ce type de faciès est représenté par le niveau 5:

- Le niveau 5, a une puissance d'environ 1 m. Il est constitué des nodules d'oxyde de fer. (**Fig 11e**). Les nodules sont liés par une matrice argileuse.

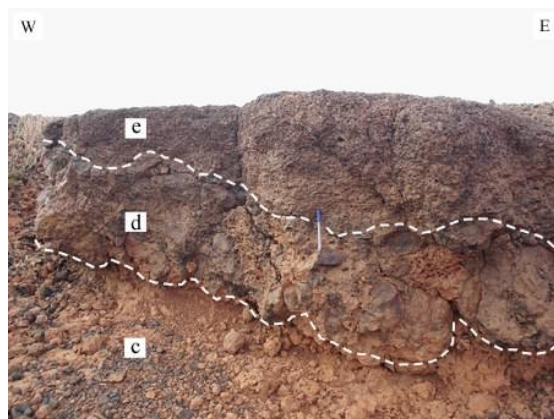


Fig. 11. Différents faciès observés au sommet de la coupe de Kongou. c) Argiles gréseuses (niveau 3), d) Grès oolithiques ferrugineux (niveau 4), e) Conglomérat à nodules d'oxyde de fer (niveau 5).

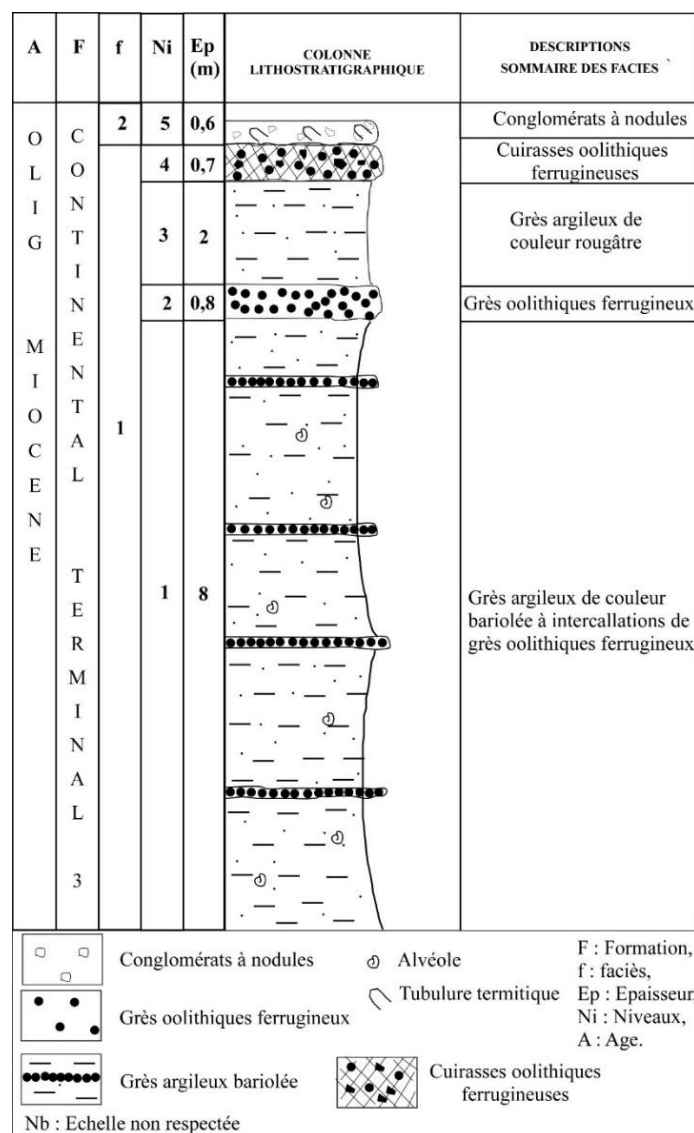


Fig. 12. Coupe sédimentologique du secteur de Kongou

5.1.4 SYNTHÈSE

Le Continental terminal 3 de la région de Niamey est constitué d'une alternance des grès argileux et des grès oolithiques ferrugineux. Il renferme aussi des tubulures et alvéoles termitiques de taille centimétrique à décimétrique et occasionnellement des moulages des gastéropodes, des lamellibranches et d'échinodermes. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par [40], [7], [9], [29].

5.2 CARACTÉRISTIQUES MICROSCOPIQUES DES GRÈS ARGILEUX DU CT3

Au microscope, les grès argileux du Ct3 présente des oolites ferrugineux de forme arrondie, de couleur orangée (couleur liée au ciment ferrugineux) (Fig 13C). Leurs tailles varient de Le pourcentage des grains de quartz ainsi que des oolites varient d'une lame à une autre. Le nucléus des oolites est soit des grains de quartz soit des fragments de sédiment ferrugineux (Fig 13D). Deux (2) types d'oolites ont été distingués dans les grès ferrugineux du Continental terminal de la zone d'étude. Les oolites de type α sont caractérisées par une lamination corticale atténuant la morphologie anguleuse du nucléus (Fig 13F). Ce type d'oolithe caractérise les milieux très agités [31]. Les oolites de type γ ou oolites asymétriques ou oolites excentriques présentent une lamination corticale développée sur un côté du nucléus (Fig 13C). Ce type d'oolithe caractérise les milieux calmes ou abrités [37]. La présence de ces deux types d'oolites témoigne d'au moins deux phases de mise en suspension. (Secondairement, on rencontre des oolites composites dont le nucléus renferme une ou plusieurs oolites de première génération (Fig 13A); ceci témoigne d'au moins deux phases de mise en suspension). Les oolites ont subi des fissurations dues à l'effet de la diagenèse mécanique ou des contraintes tectoniques. Certains oolites présentent des craquelures dues aux chocs entre les grains ou à la compaction modérée pendant la diagenèse (Fig 13D). Selon [41] une forte agitation des eaux

pourrait être une condition indispensable à la formation des oolites. Les oolites se rencontrent typiquement dans les zones agitées de forts courants de marée, dans les zones de littoral marin ou lacustre et dans les dépôts de plages sublittorales de faible profondeur, souvent à moins de 5 m, parfois entre 10-15 m [33].

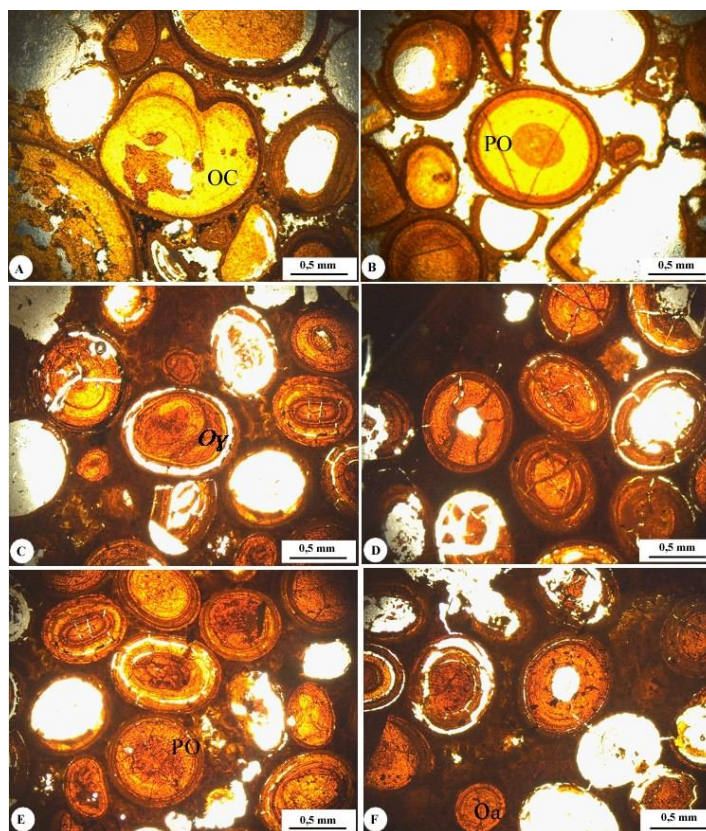


Fig. 13. Microphotographies en lumière polarisée, montrant les types d'oolithes ferrugineuses de la formation du Continental terminal 3 observée sur la rive gauche du Fleuve Niger.

A, B, C, E et F: Microphotographies montrant les types d'oolithes observés dans les grès ferrugineux de la zone d'étude (Oα: oolithes de type α, Oγ: oolithes de type γ, PO: proto-oolithes, OC: oolithes composite). E: Microphotographie d'oolithes ferrugineuses jointives. F Microphotographie montrant les oolithes non jointives.

5.3 ANALYSE DE LA FRACTURATION PAR LES TECHNIQUES DE LA TELEDETECTION

5.3.1 CARTOGRAPHIE DES STRUCTURES LINEAMENTAIRES

La cartographie structurale nécessite l'usage des filtres directionnels tel que le filtre de Sobel. L'application de ce filtre a permis d'obtenir les quatre directions linéamentaires suivantes: N-S, E-W, NE-SW et NW-SE (Fig 14).

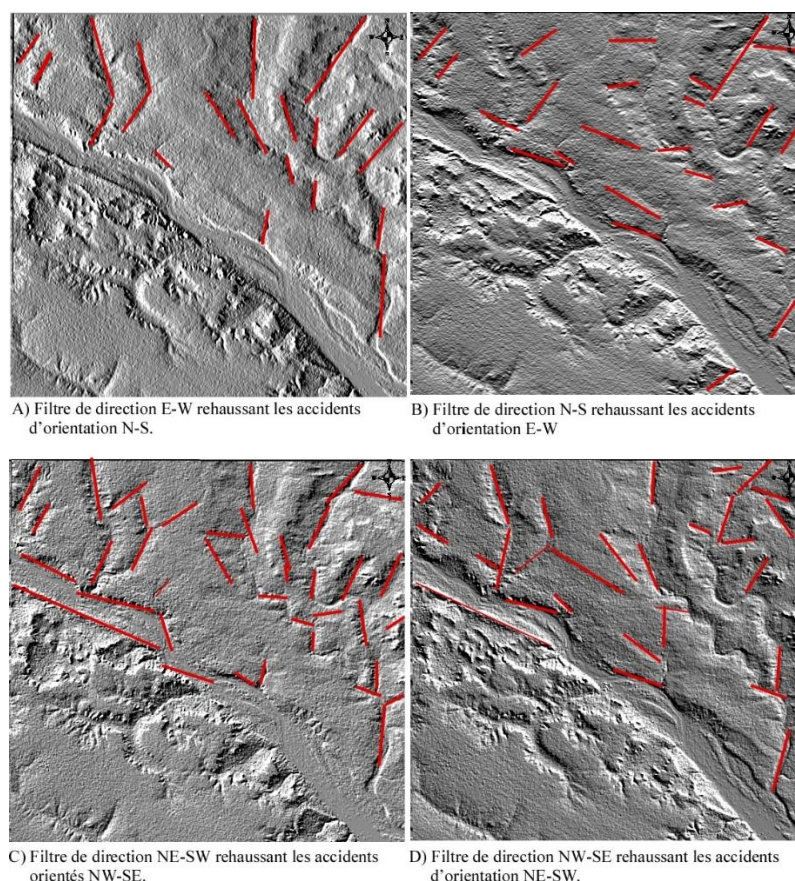


Fig. 14. Images rehaussées après application du filtre de Sobel suivant les directions E-W (A), N-S (B), NE-SW (C) et NW-SE (D).

La cartographie des structures linéamentaires a été réalisée manuellement. Les linéaments de différentes directions ont été identifiés. Ils représentent plusieurs types d'objets de la surface terrestre: le réseau hydrographique, les lignes de crête et diverses structures géologiques telles que les fractures et les failles (**Figure 15**).

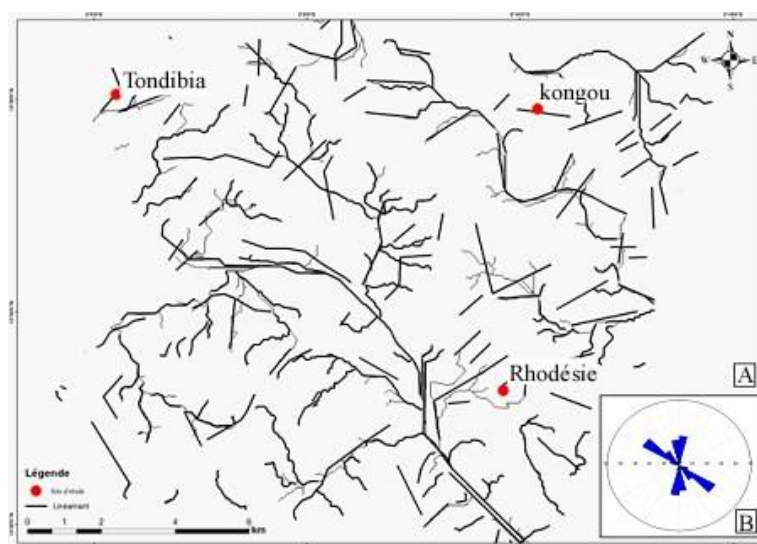


Fig. 15. Carte de répartition des linéaments dans la zone d'étude, obtenue à partir des images SRTM.

L'analyse des résultats a permis de classer les linéaments en deux (02) catégories:

- (1) En fonction des fréquences en nombre de linéaments (**Figure 15B**), deux pics directionnels ont été mis en évidence. Les plus remarquables ont été observés pour les deux groupes directionnels suivants: N0° à N20° et N120° à N140°.

(2) D'autres directions de moindre importance ou secondaires apparaissent également. Ce sont les directions N100° à N110°, N140° à N150°, N170° à N180°.

5.3.2 CARTOGRAPHIE DES RESEAUX DE FRACTURES

L'extraction des réseaux de fractures à partir des données bibliographiques (cartes géologiques et structurales) et des données de terrain a permis de réaliser la carte synthétique de fractures (**Fig. 16**).

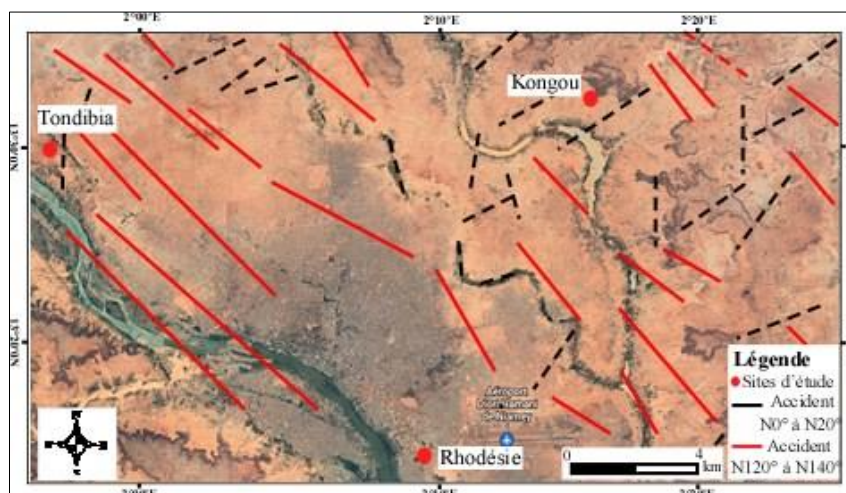


Fig. 16. Carte synthétique des fractures obtenues à partir de la carte linéamentaire.

Cette carte des réseaux de fractures montre que la fracturation s'organise selon trois directions principales: E-W, NW-SE et NE-SW. La direction NNE-SSW correspond globalement à celle des fractures d'orientation N0° à N20° identifiées par [29], [43] sur l'image Google Earth de la région de Niamey. Les fractures dominantes sont représentées par les directions N120° à N170° et les fractures secondaires sont représentées par les directions N0° à N20° et NE-SW. Dans la région de Niamey, les fractures N120° à N170° influencent le tracé du *Fleuve Niger* et marquent la zone bordière entre le Craton Ouest Africain et le Bassin des Iullemmeden. La première phase de déformation extensive (D1) a été mise en évidence par [29] dans les dépôts oligo-miocène de la région de Niamey. Les structures de déformation liées à cette phase D1 sont représentées par des microfailles dont les miroirs portent de nombreuses stries courbes et des micro-fractures de taille décimétrique à pluri-décimétrique d'orientation N120° à N160°. La direction d'extension N50° oligocène, mise en évidence dans les dépôts du continental terminal 3 de la région de Niamey, est comparable à celle mise en évidence dans le fossé de Téfidet (N60°), dans le Niger oriental. Une observation similaire a été réalisée en Tunisie par [19], qui a mis en évidence pendant l'Oligocène une extension de direction NE-SW. [28] ont également mis en évidence en Tunisie, pendant l'Oligocène terminal et le Miocène basal, des indices de distension de direction NE-SW. En Algérie aussi, la tectonique distensive oligocène (NE-SW) est marquée par le jeu d'accidents N115° à N140° [42].

5.4 ANALYSE TECTONO-SEDIMENTAIRE

L'analyse tectonique de la formation du Continental terminal 3 (Ct³) réalisée dans la zone d'étude a consisté à mesurer les différentes structures de déformations (direction et pendage pour les plans, azimut et pitch pour les structures linéaires). Les plans de fractures mesurés ont été ensuite traités à l'aide du programme Stéréonet 10 mis au point par [6]. Les stéréodiagrammes obtenus indiquent l'existence de trois systèmes de fractures conjuguées (F1, F2 et F3): F1 d'orientation N10° à N30°, F2 de direction N40° à N80° et F3 d'orientation N140° à N170°.

5.4.1 SECTEUR DE TONDIBIA

Les plans de fractures de direction N145° à N170° (**Fig 17**) ont été traités avec le programme Stéréonet [6]. Les stéréodiagrammes obtenus indiquent une direction moyenne de raccourcissement Z N160° (**Fig 18**).



Fig. 17. Grès argileux ferrugineux de la formation du Ct³ du secteur de Tondibia, affecté par des fractures N165° (F3), N170° (F3). a: couche gréseuse argileuse ferrugineuse oolithique. b: Grès oolithiques ferrugineux.

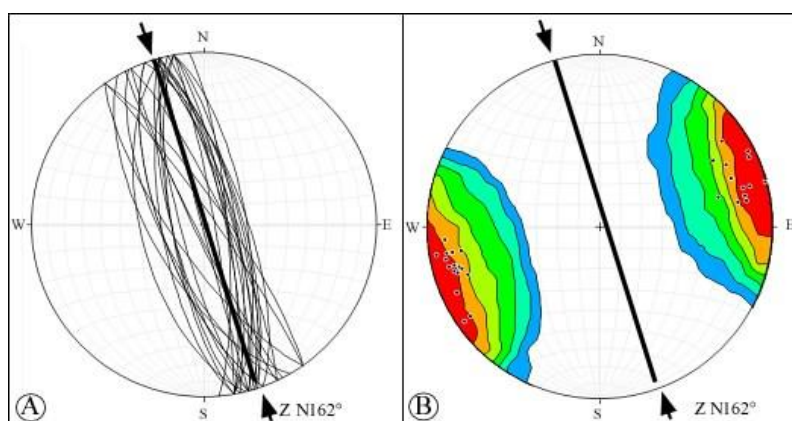


Fig. 18. Projections stéréographiques des fractures mesurées dans les Grès argileux du Ct³ du secteur de Tondibia (région de Niamey). Les stéréodiagrammes obtenus indiquent une direction moyenne de compression N160°.

5.4.2 SECTEUR DE RHODESIE

Les plans de fractures de direction N40° - N70° (Figure 19) et de direction N140° - N170° (Figure 19) ont été traités avec le programme Stéréonet [6]. Les stéréodiagrammes obtenus indiquent respectivement une direction moyenne de raccourcissement Z N55° (Fig 20) et une direction moyenne de raccourcissement Z N155° (Fig 21).

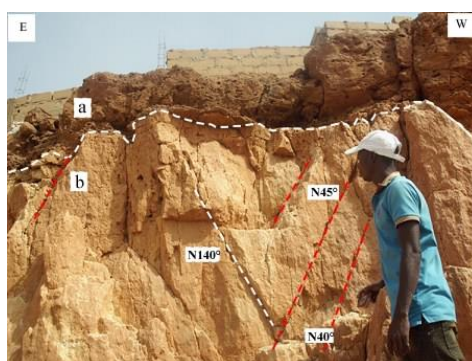


Fig. 19. Grès kaoliniteux de la formation du Ct³ du secteur de "Rhodésie", affectés par des fractures N40° (F2), N140° (F3) a: couche gréseuse argileuse ferrugineuse oolithique. b: Grès kaoliniteux.

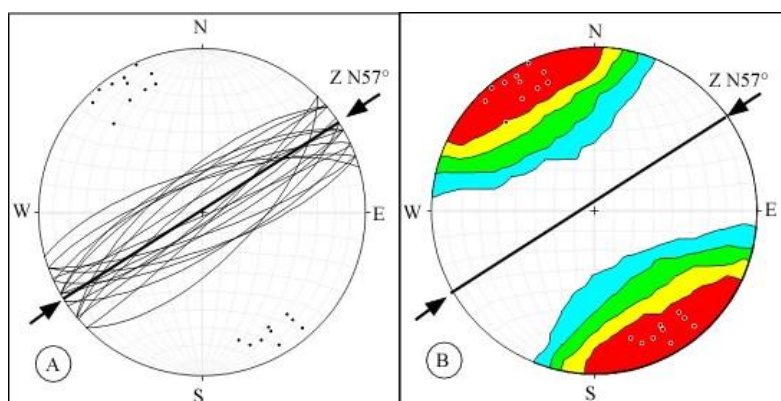


Fig. 20. Projections stéréographiques des fractures mesurées dans les grès kaolineux du Ct3 du secteur de "Rhodésie" (région de Niamey). Les stéréodiagrammes obtenus indiquent une direction moyenne de compression N55°.

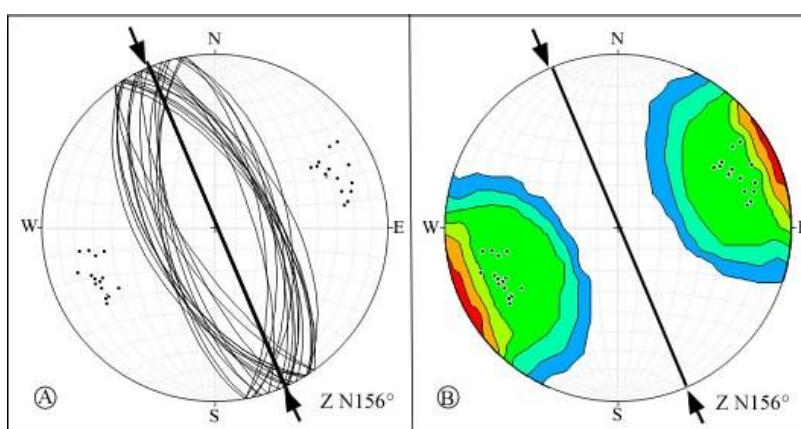


Fig. 21. Projections stéréographiques des fractures mesurées dans les grès kaolineux du Ct3 du secteur de "Rhodésie" (région de Niamey). Les stéréodiagrammes obtenus indiquent une direction moyenne de compression N155°.

5.4.3 SECTEUR DE KONGOU

Les plans de fractures de direction N10°- N30° (Fig 22 et 23) et de direction N140°- N170° (Fig 22 et 24) ont été traités avec le programme Stéréonet [6]. Les stéréodiagrammes obtenus indiquent respectivement une direction moyenne de raccourcissement Z N20° (Fig 25) et une direction moyenne de raccourcissement Z N157° (Fig 26).

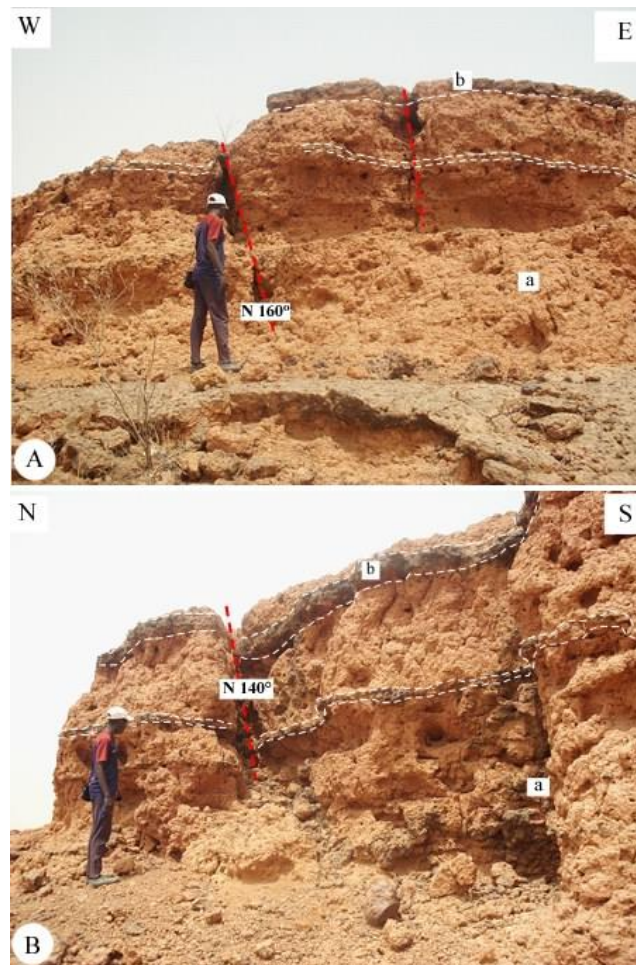


Fig. 22. Grès argileux ferrugineux de la formation du Ct3 du secteur de Kongou, affectés par des fractures N20° (F1), N160° (F3), N140° (F3). a: couche gréseuse argileuse, b: grès oolithiques ferrugineux.



Fig. 23. Grès argileux ferrugineux de la formation du Ct3 du secteur de Kongou, affectés par des fractures N 30° (F1), N10° (F1).
a: couche gréseuse argileuse, b: grès oolithiques ferrugineux



Fig. 24. Grès argileux ferrugineux de la formation du Ct3 du secteur de Kongou, affectés par des fractures N 150° (F3).
a: couche gréseuse argileuse, b: grès oolithiques ferrugineux.

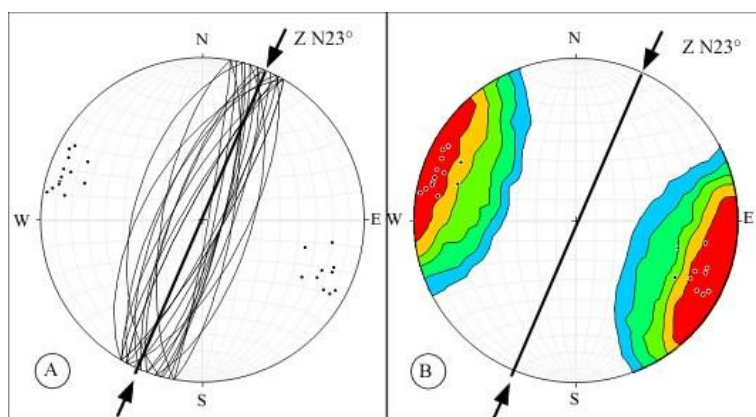


Fig. 25. Projections stéréographiques des fractures mesurées dans les grès argileux du Ct³ du secteur de Kongou (région de Niamey). Les stéréodiagrammes obtenus indiquent une direction moyenne de compression N20°.

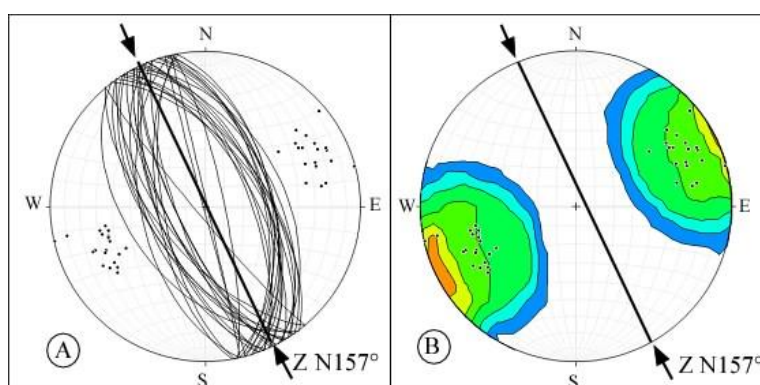


Fig. 26. Projections stéréographiques des fractures mesurées dans les grès argileux du Ct³ du secteur de Kongou (région de Niamey). Les stéréodiagrammes obtenus indiquent une direction moyenne de compression N156°.

6 CONCLUSION

L'étude pétrographique a permis d'identifier la succession des différents faciès du continental terminal 3 dans les différents secteurs d'étude (Tondibia, "Rhodésie" et Kongou). Le choix de ces sites a permis de distinguer plusieurs faciès dont on peut citer entre autres: Il s'agit de grès kaolineux, de grès à oolithes ferrugineuses, d'argiles gréseuses, de grès conglomératiques, d'argiles présentant des intercalations des grès oolithiques ferrugineux et de conglomérats à nodules d'oxyde fer. L'analyse tectonique a permis de distinguer trois systèmes des fractures conjuguées réparties en trois familles F1 d'orientation N10° à N30°, F2 de direction N40° à N80° et F3 d'orientation N140° à N170° affectant la formation du Continental terminal 3.

REFERENCES

- [1] ABDOU ALI, I. Caractérisation des réservoirs aquifères multicouches du bassin des Iullemmeden dans la région de Dosso (Sud-Ouest Niger): Apports de la télédétection, du SIG, de la géophysique et de l'hydrochimie. Thèse de Doctorat unique, Université Abdou Moumouni de Niamey, 318p, 2018.
- [2] ABDOU A., BONNOT H., BORY KADEY D., CHALAMET D., SAINT MARTIN M. ET YOUNFA I. Notice explicative des cartes géologiques du Liptako à 1/100 000 et 1/200 000, Ministère des Mines et de la géologie, Rép. Niger, 64 p, 1998.
- [3] AFFATON P, GAVIGLIO P, PHARISAT A. Réactivation du craton ouest-africain au Panafricain: paléocontraintes déduites de la fracturation des grès néoproterozoïques de Karey Gorou (Niger, Afrique de l'Ouest). Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences 331 (2000). Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés pp. 609–614, 2000.
- [4] ALIDOU, S. Etude géologique du bassin Paléo-Mésozoïque de Kandi. Thèse de doctorat ès-sciences. Université de Dijon. 328p, 1983.
- [5] AMA SALAH I., LIEGEIS J. P. and POUCLLET A. Évolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba): géologie, géochronologie et géochimie. Journal of African Sciences, Vol. 22, N° 3, p. 235 – 254, 1996.

- [6] ALLMENDINGER R., 2017. Stereonet10, version10.0.
<http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.html>.
- [7] BEAUVAIS A., RUFFET G., HENOCQUE O. and COLIN F. Chemical and physical erosion rhythms of the West African Cenozoic morphogenesis: The ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating of supergene K-Mn oxides. *Journal of Géophysical Research*, Vol. 113, F04007, 15 p, 2008.
- [8] BESSOLES B. Géologie de l'Afrique: Le Craton Ouest Africain. - Mém. BRGM, 88, 402 p, 1977.
- [9] CHARDON D., JEAN-LOUIS G., ANICET B. and OUSMANE B. West African lateritic sediments: Landform-regolith evolution processes and mineral exploration pitfalls. Elsevier, *Earth-Science Reviews*, p. 124–146, 2018.
- [10] DUBOIS, D. ET LANG, J. Etude lithostratigraphique et sédimentologique du Continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des lullemeden (Niger). *Bull. I.F.A.N.43. Ser. A*, n°1-2, 1-42p, 1981.
- [11] DUBOIS D. Etude des formations ferrugineuses du bassin des lullemeden (Niger). Thèse de spécialité Univ. Orléans-Niamey, 123 p, 1979.
- [12] FAURE.H. Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger Oriental. Mém. BRGM47, Paris, 630 p, 1966.
- [13] GARBA SALEY H., KONATE M., AHMED Y. ET SOUMAÏLA A.). «Les minéralisations de manganèse du Nord Téra (Liptako, Ouest Niger): origine et conditions de mise en place,» *REV. CAMES* - vol. 5 no. 2, 15 p, 2017.
- [14] GREIGERT J: Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des lullemeden (Afrique occidentale). Ministère des Travaux publics, des Transports, des Mines et de l'Urbanisme de la république du Niger. Direction des mines et de la géologie, 2. BRGM éd., 229 p, 1966 Paris, France.
- [15] GUÉRO A. Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure sud-ouest du bassin des lullemeden (Niger). Approche géochimique et hydrodynamique. Thèse de doctorat en science Université de Paris XI ORSAY, 265 p, 2003.
- [16] GREIGERT, J. et POUUNET R: Essai de description des formations géologiques de la République du Niger. Editions du Brgm, Paris, 273 p, 1967.
- [17] HALLAROU M.M., KONATÉ M., OLATUNJI A.S., AHMED Y., AJAYI F.F. AND ABDUL R.M. Re-Os Ages for the Kourki Porphyry Cu-Mo Deposits, North West Niger (West Africa): Geodynamic Implications. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 13 p, 2020.
- [18] HAMZA MAYAKI I., SOULEY H. ET KONATE M. Caractéristiques géologiques et géotechniques de deux géomatériaux exploités en carrière dans la région de Niamey: les grès oolithiques ferrugineux et les granitoïdes birimiens. *Journal des Sciences I.S.S.N 0851 – 4631*, 2017.
- [19] HEZZI I. Caractérisation géophysique de la plateforme de Sahel, Tunisie nord-orientale et ses conséquences géodynamiques. Thèse / Université de Rennes 1, 197 p, 2014.
- [20] HUBERT, H. Mission scientifique au Dahomey, iris, lilliad, Université Lille1, 628p, 1908.
- [21] IBRAHIM MAHAROU HASSAN. Dynamique sédimentaire des grès de Niamey (Niger occidental): indices de glaciation et déformations associées, thèse, 188p, 2020.
- [22] ISSIFOU FATIOU ADISS KAMAL. Caractérisations géologique et géochimique des sédiments ferrugineux du continental terminal du bassin de kandi (nord-est benin), these, 237p, 2020.
- [23] LANG J., KOGBE C.A., ALIDOU S., ALZOUOMA. K., DUBOIS D., HOUSSOU A., TRICHET J. Le sidérolitique du Tertiaire ouest-africain et le concept de Continental terminal. *Bull. Soc. Géol. France*, 8, t 2, n°1/2 pp. 605-662, 1986.
- [24] LANG J., KOGBE C.A., ALIDOU S., ALZOUOMA. K., BELLION Y., DUBOIS D., DURAND A., GUIRAUD R., HOUSSOU A., DE439KLASZ I., ROMANN E., SALARD-CHEBOLDIAEFF M., TRICHETJ. The Continental terminal in West Africa. *Journal of Africa Earth Sciences*, vol. 10, n°1/2, pp.79-99, 1990.
- [25] KILIAN, C. Des principaux complexes continentaux du Sahara. *Société géologique de France*, pp 109-111, 1931.
- [26] MACHENS, E. Contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'Ouest de la République du Niger. *Mémoire du Bureau des Recherches Géologiques et Minières*, France, n°82, 167 p, 1973.
- [27] MACHENS, E. Notice explicative sur la carte géologique du Niger occidental, Carte géol. 1/200000ème. Dir. Mines Géol., Niger, p 45, 1967.
- [28] MARTINEZ C., ANDRIEUX J., TRUILLET R. & BEN JEMIAA M. Les structures synsédimentaires miocènes en compression associées au décrochement dextre Mhrila-Chérichira (Tunisie centrale). *Bull. Soc. Géol. France*, 1990, (8), t. VI, no 1, pp. 167-176, 1990.
- [29] OUSMANE et al. Caractérisation de la déformation des dépôts oligocènes du Continental terminal 3 (Ct³) dans la région de Niamey (Bordure Orientale du Craton Ouest Africain, bassin des lullemeden), 24p, 2020.
- [30] POUUNET, R. Stratigraphie et identification des formations continentales du Moyen Niger et du Haut Dahomey. *Bulletin Société Géologique de France*, vol 19, n°4,5,6, pp 493-498, 1949.
- [31] PURSER, B.H. Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. Tome 1, Editions Technip, 340p, 1980.
- [32] URVOY Y. Structure et modelé du Soudan français (Colonie du Niger). In: *Annales de Géographie*, t. 45, n°253, 1936. pp.19-49, 1936.
- [33] ROBERT, C. ET BOUSQUET, R. Géosciences, la dynamique du système Terre. Edition Berlin, ISBN 978-2-7011-3816-9, 1159p, 2013.

- [34] SOUMAILA A. ET GARBA Z. Le métamorphisme des formations de la ceinture de roches vertes birimienne (paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest). *Africa Geoscience Review*, Vol.13, No.1, p.107-128, 2006.
- [35] SOUMAILA, A. Etude structurale, Pétrographique et Géochimique de la ceinture birimienne de Diagorou-Darbani, Liptako, Niger Occidental (Afrique de l'Ouest). Thèse, 253 p. Université de Franche-Comté, France, 2000.
- [36] SOUMAILA A., HENRY P. ET ROSSY M. Contexte de mise en place des roches basiques de la ceinture de roches vertes birimienne de Diagorou-Darbani (Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest): plateau océanique ou environnement d'arc/bassin arrière-arc océanique. *C. R. Geoscience*, n° 336, p 1137–1147, 2004.
- [37] SOUMAILA A. ET KONATE M. Caractérisation de la déformation dans la ceinture birimienne (paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako nigérien, Afrique de l'Ouest). *Afr. Geo. Review.*, vol. 13, n° 3, p 161-178, 2005.
- [38] SOUMAILA A., HENRY P., GARBA Z. AND ROSSI M. REE Patterns, Nd-Sm and U-Pb ages of the metamorphic rocks of the Diagorou-Darbani greenstone belt (Liptako, SW Niger): implication for Birimian (Paleoproterozoic) crustal genesis, *Geological Society, London, Special Publications*, v. 297; p. 19-32, 2008.
- [39] ST-JULIEN P. Étude structurale préliminaire des indices de Kourki, de Dounga, de Kossa et Borobon de la ceinture de Gorouol (Liptako), 1992.
- [40] TESSIER, F. Oolites ferrugineuses et fausses latérites dans l'est de l'Afrique occidentale française. Extrait des annales de l'école supérieure des sciences, Institut des hautes études de Dakar, Tome 1, 26p, 1954.
- [41] VANDERYST, R.P. Les roches oolithiques du système schisto-calcaireux dans le Congo occidental, Institut Royal Colonial Beige section des sciences naturelles et médicales Mémoires, collection 4°, tome 1, fascicule 2, 85p, 1932.
- [42] YAICH C., BEN ISMAIL K., ZAGHBIB-TURKI D., MONCEFTURKI M. Interprétation séquentielle de l'Oligo-Miocène (Tunisie central & Nord-Orientale). / New sequential interpretation of Oligocene and Miocene (Central and Northeast of Tunisia). In: *Sciences Géologiques. Bulletin*, tome 47, n°1-4, pp. 27-49, 1994.
- [43] K. Laouali Idi and M. Konaté, «Extraction de réseaux de fractures en milieu sédimentaire par les techniques de la télédétection intégrant une analyse statistique et structurale: cas des Formations méso-cénozoïques du bassin des Iullemmeden, Niger Central, » *Afrique Science* 15 (5) (2019) 39 – 53.15p, 2019.

Contribution des extractions de sables marins à l'accélération de l'érosion côtière dans la région de San Pedro (Côte d'Ivoire)

[Contribution of marine sand extraction to the acceleration of coastal erosion in the San Pedro region (Ivory Coast)]

Lou Soholy Ange Claverie Lassey, Bi Youzan Aimé Gbamble, and Blandine Akissi Egoran

UFR des Sciences De la Mer, Université de San Pedro, 01 BP V 1800, San Pedro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study, which focuses on beach sediment extraction, is to highlight the impact of these practices on the accelerated erosion of the San Pedro coastline. These practices, linked to the needs of the local population for construction materials, often have catastrophic repercussions. To carry out the work, data on marine sand production was collected, and systematic observation and interview surveys were carried out at the three marine sand quarries in the village of Digbougé and at the mouth of San Pedro. This research revealed that both clandestine and official extractions were taking place on a daily basis in these areas. The annual volume of sediment extracted amounts to more than 15,000 m³, not counting clandestine extractions carried out by local villagers, for which the data remain undefined. These activities have disastrous consequences, such as the gradual depletion of sand stocks and a consequent shortage of sediment, which disrupts the equilibrium of the coastal system, causing the coast to retreat and endangering the environment being exploited. Accelerated flooding poses a real threat to the local population. Marine sand extraction causes a great deal of damage and contributes effectively to coastal erosion. It is essential to take defensive measures against this activity.

KEYWORDS: Beach, sediment, quarry, coastline, sediment budget.

RESUME: Cette étude axée sur les extractions de sédiments de plages a pour objectif de mettre en exergue l'impact de ces pratiques dans l'érosion accélérée du littoral de San Pedro. Ces pratiques liées aux besoins usagers de la population riveraine à une forte demande de matériaux de construction, ont bien souvent des répercussions catastrophiques. Pour mener à bien le travail, des recueils de données relatives aux productions de sables marins ainsi que des enquêtes par observation et interviews systématiques ont été effectués sur les trois carrières de sables marins du village Digbougé et celle de l'embouchure de San Pedro. Ces recherches ont permis de découvrir que journalièrement des extractions clandestines comme officielles s'opèrent sur ces zones. Le volume sédimentaire prélevé annuellement s'élève à plus de 15000 m³ sans compter les extractions clandestines dirigées par les villageois riverains dont les données restent indéfinies. Ces activités ont des conséquences désastreuses telles que l'épuisement progressif du stock de sables et donc une pénurie de sédiments ce qui entraîne une rupture de l'équilibre du système côtier, un recul des côtes et le péril du milieu exploité. L'avancée accélérée des eaux constitue une véritable menace pour la population riveraine. Les extractions de sables marins engendrent plusieurs dommages et contribuent efficacement à l'érosion côtière. Il s'avère indispensable que des mesures de défense soient prises contre cette activité.

MOTS-CLEFS: Plage, sédiment, carrière, littoral, budget sédimentaire.

1 INTRODUCTION

L'érosion des côtes est un phénomène qui se produit en de nombreux endroits du monde. C'est un processus naturel qui a toujours existé et qui a façonné la côte et donc perturbé le budget sédimentaire des plages. Le réchauffement climatique actuel, est en partie responsable de l'érosion des côtes de l'Afrique de l'Ouest [1], [2], [3], [4], [5] et [6]. La dynamique morphosédimentaire des plages intertidales est influencée par la combinaison des forçages naturels (à travers les variations

saisonniers du climat) et anthropiques du fait de la forte emprise humaine sur l'ensemble des plages étudiées [7]. Sur l'ensemble de la planète, on estime que 70 % des rivages sableux sont déjà soumis à l'érosion due aux agents météorologiques et marins [8], [9], [10] et majoritairement engendrée par les activités anthropiques. Elles accentuent la vulnérabilité du littoral à l'impact érosif dû au changement climatique, par une pression accrue sur un budget sédimentaire altéré des plages [11], et particulièrement par les activités d'extraction de sable de plages.

Dans l'étude de la dynamique sédimentaire des côtes, des experts se sont engagés dans l'analyse des profils des côtes [12] ainsi que l'étude de l'impact morpho-sédimentaire des activités anthropiques [13] telle que l'extraction de sédiments marins [14] tels que le sable. Entrant dans la composition du béton et du verre, et utilisé dans les remblais maritimes, le secteur de la construction est le plus gros consommateur de sable [15]. Mais il n'est pas uniquement présent dans les bâtiments et les routes. Nos ordinateurs, nos cosmétiques, nos voitures en contiennent: il s'agit d'un matériau à partir duquel notre société s'est développée. Avant de rejoindre notre quotidien, le sable est sorti de terre dans des carrières, aspiré par des dragues au fond de l'océan, extrait dans les rivières et sur le littoral [15]. En Côte d'Ivoire et plus précisément dans la région de San Pedro, cette pratique d'extraction de sables marins constitue un véritable fléau. Quel serait donc l'impact des activités d'extractions de sables marins sur les plages ? L'objectif principal est de mettre en exergue la contribution de ces activités dans l'érosion des côtes de San Pedro (Côte d'Ivoire). Dans le souci de mener à bien cette étude, les objectifs spécifiques que nous nous sommes assignés sont de recueillir le bilan des extractions de sable sur des périmètres de plage de San- de Pedro et mener des enquêtes par observation et interviews systématiques sur toutes les méthodes d'extraction de sable. Ce travail consistera à présenter d'abord le matériel et les méthodes d'étude, ensuite les résultats et discussion, et enfin la conclusion.

2 METHODOLOGIE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude s'est faite sur quatre carrières de sables de la ville de San Pedro. Il s'agit des trois carrières de sables marins du village Digbougé et celle de l'embouchure. Il est important de souligner que ces travaux ont été effectués en deux phases: la première étude a été effectuée en 2013 afin de récolter toutes les données relatives aux trafics. La seconde phase s'est faite sur ces sites en 2023 (dix ans après) afin d'apprécier l'impact de ces activités anthropiques sur ces côtes.



Fig. 1. Carte de localisation des sites étudiés (les trois carrières de Digbougé et celle de l'embouchure)

La figure 1 indique les 4 sites étudiés.

La carrière de Digboué existe depuis environ quarante ans et depuis lors, c'est elle qui servait de ravitaillement à toute la région. En 2012, est subvenue l'ouverture de la carrière de l'embouchure. Il faut ajouter que ces carrières sont légalisées et donc autorisées par le gouvernement ivoirien à extraire le sable marin.

Tableau 1. Tableau des carrières autorisées à produire le sable de mer.

CARRIERES	ATTRIBUTAIRES	N° ARRETE
Digboué	BAMBA Adama	038/MME/DM du 15/09/2003
Digboué	PANAH Pollet	037/MME/DM du 15/09/2003
Digboué	YEHOUN Zacharie	039/MME/DM du 15/09/2003
Carrière de l'embouchure	GNENEZI Apolinaire	054/MME/DGMG/ du 21/ 04/2009

Le tableau 1 indique les différentes carrières autorisées à commercialiser le sable marin.

2.2 ENQUÊTES ET OBSERVATIONS

Pour mener à bien le travail, un appareil photo numérique a été utilisé pour prendre des images témoins, un GPS [GARMIN originaire de l'Amérique] pour la localisation du site et des blocs-notes pour servir de fiche d'enquête. D'abord en 2013, le travail a consisté à rechercher tous les résultats relatifs aux productions des carrières auprès de la direction régionale chargée des mines de San-Pedro, et d'aller sur le terrain pour interroger la population riveraine ainsi que de mener des enquêtes de terrain relatives au réel trafic de ces sédiments. Ensuite en 2023, le travail s'est fait par analyse directe du terrain suivis d'interviews systématiques des riverains et des inspecteurs de la direction des mines afin de recueillir toutes les informations relatives à l'avancement de ces activités et leur impact direct sur les sites.

- **Procédure administrative:** Comme toute procédure administrative, des demandes par courriers ont été formulées. Elles ont consisté à rechercher toutes les informations relatives aux extractions récentes de sable sur le littoral de San-Pedro. Suite à des réponses favorables, des données de prélèvement ont été mises à notre disposition.

Dans la région de San-Pedro, l'acquisition des données sur les productions des carrières se fait dans un système déclaratif. Lorsque les extractions sont faites, elles sont enregistrées par un agent de la direction des mines chargé des contrôles et de la vérification des quantités prélevées. L'administration se contente des données déclarées et fournit chaque année un bilan de production de sable.

- **Procédure sur le terrain:** A chaque étape, des prises de photo des extractions qui s'opéraient sur place étaient d'abord faites. Ensuite, des approches auprès des extracteurs et de la population riveraine étaient entamer afin d'obtenir de plus amples informations sur le déroulement des activités. Des interviews systématiques ont été effectués à l'aide d'une fiche d'enquête comportant des questionnaires.

Toutes les personnes qui sur place procédaient aux prélèvements ont été interrogées. Pour finir, les valeurs approximatives des extractions journalières qui se faisaient hors des heures de fonctionnement des carrières ont été recensées au cours de l'enquête.

Tableau 2. Fiche d'enquête

POPULATION RIVERAINE	-Qui extrait le sable marin ? -A quoi sert-il ? -Quels sont les moyens d'extraction observés ? -Quel est le rythme des extractions sur la zone ?
EXTRACTEURS	-Quelles sont les motivations des extractions ? -Quelles sont le mode d'utilisation et les quantités prélevées habituellement ?

Le tableau 2 présente la fiche d'enquête pour le questionnement des extracteurs et des riverains.

3 RESULTATS

3.1 PHASE 1: BILAN DES EXTRACTIONS DE SABLES SUR LES SITES ÉTUDIÉS EN 2013

Sur les carrières du village Digbougé et celle de l'embouchure, nous avons observé une forte exploitation de sables marins à l'aide de gros camions (*figures 2 et 3*). En effet, l'extraction sur ces carrières étant légalisée, toute extraction sur ces sites se fait donc avec des techniques performantes. Les extracteurs y travaillent librement et exploitent le sable selon leur bon vouloir.



Fig. 2. Extraction de sable marin sur le site Digbougé à San-Pedro (26/12/2013).

La figure 2 permet d'observer les extractions faites sur une large plage riche en sédiments qui est le site Digbougé.



Fig. 3. Utilisation des gros camions pour les prélèvements de sable sur la carrière de l'embouchure de San-Pedro (27/12/2013).

La figure 3 laisse voir des prélèvements sur la carrière de l'embouchure riches en sédiments bordant la côte.

Par le canal de la direction régionale des mines et de l'Énergie, nous sommes rentrés en possession des données relatives aux extractions de sable marin des carrières de Digbougé et de l'embouchure de 2004 à 2013.

Tableau 3. Bilan de production (m³) de sable de mer des carrières de Digboué et de l'embouchure (2004-2013).

ANNEES	BAMBA Adama	PANAH Pollet	YEHOUN Zacharie	GNENEZI Apolinaire	TOTAL
2013	5 150	3 300	1 850	3 750	14 050
2012	6 000	4 750	8 276	7 800	26 826
2011	9 500	6 350	Aucune activité	Non existant	14 950
2009-2010	9 280	9 940	Aucune activité	Non existant	19 220
2008	3 020	4 640	3 400	Non existant	11 060
2007	4 640	5 800	4 040	Non existant	14 480
2006	3 608	4 880	2 470	Non existant	10 958
2005	2 700	3 900	4 550	Non existant	11 150
2004	4 620	8 504	5 400	Non existant	18 524
TOTAL DES PRODUCTIONS				141 218	

Source: Direction des mines et de l'énergie de San-Pedro.

Le tableau 3 présente la production de sables sur les différentes carrières étudiées.

Sur la carrière de l'embouchure, les quantités prélevées sont effectivement celles qui sont enregistrées par la Direction des mines. En effet, en dehors des heures de service, aucune extraction ne s'y fait. Par contre, au village Digboué, au-delà des heures de service des carrières, des prélèvements se poursuivent sous la supervision et au bénéfice des villageois autochtones. Etant donné que la Direction se trouve dans un système déclaratif, les productions enregistrées par les carrières sont donc dans une marge de 30 à 50 % de vérité des réelles extractions faites journalièrement. En plus, les valeurs d'extractions déclarées ne sont toujours pas les réelles, vu qu'il existe bien souvent des personnes qui font de fausses déclarations, juste pour empocher le surplus des redevances. La Direction ne dispose pas de moyens de contrôle des travaux sur toutes les 24 heures de la journée mais seulement veille au contrôle des carrières à leurs heures de service qui débutent à 7h 00 min du matin et s'arrêtent à 16h 30 min de la journée. La Direction se charge de l'encaissement des taxes (100 francs CFA pour 1 m³) et redevances dues sur les prélèvements journaliers. En dehors des heures de service des carrières, les villageois procèdent à la commercialisation des sédiments en prétendant devoir bénéficier de leur terre et utilisent les frais d'accès des camions pour renforcer leur caisse de solidarité. Cela constitue un véritable « business » pour eux, car pour la majorité c'est un bon moyen pour s'enrichir. Le sable extrait dans la journée ne peut être réellement quantifié puisque la plupart de ces villageois est analphabète.

3.2 ÉTAT ACTUEL DE L'IMPACT DES EXTRACTIONS DE SABLES SUR LES PLAGES DE SAN PEDRO

Jusqu'à nos jours, ce sont essentiellement les carrières de Digboué et celle de l'embouchure qui continuent d'approvisionner toute la région de San-Pedro en sable. Ces activités s'y poursuivent aisément et entraînent des conséquences désastreuses sur ces sites d'approvisionnement. En plus de l'érosion qui se fait naturellement, les extractions agissent directement sur le budget sédimentaire et donc aggrave à grande allure l'érosion côtière. Malgré l'état alarmant de ces côtes, les extracteurs poursuivent leurs activités jusqu'à prélever le peu de sédiments rescapés. Le stock sédimentaire restant sur ces plages est en voie de disparition et laisse observer la terre ferme. L'eau avance à grand pas et est aujourd'hui en contact direct avec la terre ferme du village. Les riverains se déplacent constamment en s'éloignant de la côte. La population est permanemment en danger face à l'avancée de l'eau qui s'avère souvent très menaçante. Le rivage de stockage des pirogues de pêche est également en phase de disparition et ceci constitue également une réelle crainte pour ces villageois qui ont la pêche comme activité principale.



Fig. 4. Cortège sédimentaire en voie de disparition

La figure 4 montre que le stock sédimentaire restant sur ces plages est en voie de disparition et laisse observer la terre ferme.



Fig. 5. Érosion de la plage du village Digbougé

La figure 5 présente la plage du village Digbougé qui est en voie de disparition.



Fig. 6. *Érosion accentuée de la plage au profit de l'exposition de la terre du village Digboué (Jeudi 13/07/23)*

La figure 6 laisse voir les traces du contact direct de l'eau avec la terre ferme du village.



Fig. 7. *Avancement de l'eau vers les habitations des villageois*

La figure 7 présente le rapprochement des eaux vers les habitations et donc indique combien la population est constamment en danger.



Fig. 8. Le rivage de stockage des pirogues de pêche en voie de disparition

La figure 8 montre que le rivage de stockage des pirogues de pêche est également en phase de disparition.

3.3 COMPARAISON DE LA PLAGE DES CARRIÈRES DU VILLAGE DIGBOUÉ DE 2013 ET DE 2023

Les analyses faites sur les sites en ces deux différentes périodes ont laissé constater un état alarmant et regrettable des côtes dû aux activités de prélèvements de sables de plages. Les côtes qui autrefois étaient vastes et engraisées sont aujourd'hui exagérément amaigries et quasi inexistantes.



Fig. 9. Plage engraisée et enrichie en sédiments sur le site de Digboué (27/12/2013).

La figure 9 montre les côtes du village Digboué qui autrefois (an 2013) étaient vastes et engraisées.



Fig. 10. Plage fortement appauvrie en sédiments et érodée jusqu'à l'atteinte de la bande de terresur le site de Digboué (13/07/23)

La figure 10 présente les côtes du village Digboué qui aujourd'hui (an 2023) sont exagérément amaigries et quasi inexistantes.

4 DISCUSSION

A San-Pedro, on assiste à une extraction abusive du sable marin. Ce trafic est devenu aujourd'hui un véritable commerce et le littoral de San-Pedro en souffre véritablement. D'énormes conséquences découlent de ces activités:

4.1 SENSIBILITÉ DU MILIEU EXPLOITÉ AUX RISQUES NATURELS FAVORISANT L'ÉROSION CÔTIÈRE ET MENACE POUR LA POPULATION RIVERAINE

Les sédiments qui se trouvent dans le système « budget sédimentaire », deviennent insuffisants pour le maintien de l'équilibre sédimentaire quand il y a enlèvement. Souvent, suite au creusement causé par les extractions, on observe un comblement par apport de sédiments de la mer. Certains pensent alors que les sédiments extraits sont ensuite remplacés par la mer, ce qui leur donne de croire que les extractions n'ont pas d'impact sur le littoral. Pour eux, le sable de plage est un bien légitime offert par la nature qui régularise le régime chaque fois qu'il y a prélèvement [16], ce qui n'est pas du tout le cas. En effet, le sable transite entre la plage sous-marine et la plage aérienne. En période de faible agitation, la plage sous-marine s'érode au profit de la plage aérienne [17]. On observe pendant cette période un engraissement de la plage aérienne. Comme dans un système, en période de forte agitation c'est l'inverse qui se produit. On constate que les plages alternent avec des variations morphologiques, héritages de processus d'engraissement et d'amaigrissement, qui maintiennent leur résilience naturelle [18]. Cette alternance des profils apparaît dépendante de l'énergie de l'agitation marine saisonnière. En effet, les plages connaissent des variations saisonnières qui font alterner des phases de démaigrissement et des phases d'engraissement. Aux latitudes tempérées, pendant l'hiver, les vagues de tempête leur enlèvent des sédiments qui s'accumulent sur l'avant-côte sous la forme de bancs immergés. Ils seront ensuite restitués pendant les périodes de beau temps qui voient ces bancs s'effacer. Ce processus naturel de restauration peut être plus ou moins long. C'est seulement lorsqu'il est incomplet que l'on doit conclure à un état d'érosion sur le long terme. Souvent, la méconnaissance de cette évolution naturelle fait que l'on décide parfois à la hâte, après de grandes tempêtes, de faire des travaux de défense contre la mer qui ne sont pas justifiés si la situation de crise est seulement passagère [19], ou de faire des prélèvements quand il y a engraissement. Alors, il est indispensable de comprendre qu'extraire les sables marins entraîne une perte en sédiments tendant ainsi à déséquilibrer le système sédimentaire et à aggraver donc l'érosion côtière. Si naturellement l'érosion avance sur les côtes, essayons d'estimer les dégâts que pourrait engendrer le déséquilibre du littoral. Souvent, les extracteurs et même les riverains ne se rendent pas compte de l'avancée de l'érosion sur la côte. C'est surtout lors des fléaux naturels tels que les tempêtes et les tsunamis qu'ils s'aperçoivent des effets irrévocables de l'érosion. Il est avantageux de savoir que toute extraction de sable a un impact direct sur l'équilibre du système du littoral. Le démaigrissement d'une plage est généralement la conséquence de la rupture de l'équilibre entre les apports et les départ des matériaux. Les plages soumises à des extractions massives de sable ont des profils concaves tandis que celles qui n'en pas soumises sont convexes [18]. Cela justifie clairement l'effet des prélèvements sur les côtes.

Le sable est indispensable. Les habitants se sont toujours servis de cette ressource pour divers travaux: construction, réfection de bâtiments, remblaiement des cours, de concession et de routes, etc. Les quantités prélevées étaient jusque-là supportables et les risques moindres. Mais l'extension des zones urbaines, et la création de nouveaux quartiers avec l'ouverture simultanée des chantiers de construction ont suffisamment contribué au renforcement de la pression humaine sur la ressource. En plus, les exploitants considèrent les politiques de gestion comme une entrave à leur autonomie ce qui rend les choses plus difficiles. Dans le passé, la carrière Digboué était la seule à ravitailler toute la ville de San-Pedro. Des temps plus tard, s'est ajoutée la carrière de l'embouchure. L'on se rend compte que la ville de San-Pedro couvre un réel trafic de sable marin. Même si cela devrait être une nécessité pour la population de faire recours au littoral, la nature et ses fléaux quant à eux, ne sont malheureusement pas compatissants face aux réalités humaines. L'élévation du niveau de la mer accélère déjà l'érosion des côtes, tandis que le littoral ivoirien, est également exposé à des risques naturels: activité sismique, inondation, tempête, typhons, tsunamis, éboulement,... Alors, les côtes de San-Pedro, face à toutes ces influences, sont donc exposées à une croissance exponentielle d'érosion. L'érosion engendre une exposition des biens et des personnes riveraines aux risques d'inondation, de submersion et d'érosion [18]. Il est important pour ces derniers de comprendre ainsi le risque qu'ils courent quotidiennement à être acteurs dans la commercialisation de ces trésors territoriaux.

Tenant compte de l'évolution du réchauffement climatique entraînant l'élévation du niveau de la mer, l'on se rend compte tout de suite de l'intérêt qu'il y a à recourir à toutes mesures de précaution pour protéger la zone côtière. Il serait donc avantageux de réfléchir à des moyens de suspendre l'exploitation du sable de mer car l'équilibre de la plage est un véritable moyen de lutte contre l'avancée de la mer.

4.2 IMPACT DES EXTRACTIONS DE SAN-PEDRO DANS L'AGGRAVATION DE L'ÉROSION CÔTIÈRE DE LA PARTIE SUD-EST DU LITTORAL IVOIRIEN

Ces extractions ne mettent pas uniquement en péril le secteur exploité, elles se répercutent également sur l'équilibre des plages situées à l'aval [20]. Il est indispensable de savoir que les prélèvements de sédiments dans l'Ouest du littoral diminuent également le transit sédimentaire Ouest -Est, favorisant ainsi l'érosion de la partie Ouest du littoral ivoirien. La dérive littorale a une influence prépondérante sur les phénomènes d'érosion et de dépôt et donc sur la morphologie de la côte [21]. Or, d'une manière générale, l'obliquité de la houle par rapport à la côte engendre une importante dérive littorale de direction Ouest-Est. La présence de massifs rocheux, l'extraction de sables dans le Sud-ouest et la présence du canal de Vridi dans le Sud-est contribuent à un faible transit sédimentaire selon la direction de la dérive littorale (Ouest-est). L'Est du littoral est déjà atteint par une érosion aggravée, alors toute activité consistant à réduire la quantité de sédiments arrivant sur la côte ne fera qu'empirer l'érosion de la côte. Cela en est une raison de plus pour suspendre les prélèvements de sable marin sur la côte de San-Pedro. En définitive, les extractions ont introduit des perturbations importantes en rompant l'équilibre du système côtier [20]. Mais des problèmes continuent de se poser: les extracteurs ont besoin de ce travail, les chefs locaux s'enrichiraient en taxant le sable et les entreprises de construction ont besoin d'un apport régulier pour continuer leur travail. L'extraction et la consommation de sédiments marins sont liées aux économies régionales et varient très fortement selon les régions du monde, certains pays émergents peu réglementés en la matière doivent faire face bien souvent au vol de leur ressource, alors que les pays européens et notamment la France, disposent d'un arsenal juridique de recherche et d'exploitation contraignant. L'activité d'extraction de granulats marins y est donc réglementée, contrôlée et cadrée afin de prendre en compte la ressource, les autres activités et les enjeux environnementaux [22]. La protection, la gestion et la mise en valeur des milieux marins et côtiers apparaissent désormais comme des impératifs fondamentaux [23]. Déjà, plusieurs travaux tels que [24] et [25] se sont engagés dans la gestion intégrée des zones côtières. Le littoral est une zone d'interface conflictuelle où il convient de mettre en place une politique coordonnée de protection. Les travaux de [25] recensent les éléments de la politique de préservation du patrimoine naturel dans le cadre d'une gestion intégrée; Toutefois, pour interdire l'extraction du sable marin dans la région de San-Pedro, il serait nécessaire au préalable de prévoir d'autres sources de prélèvement de sable.

La Côte d'Ivoire souffre des problèmes d'érosion côtière. La planification côtière manque de législation sur la côte dans la région de San Pedro. Il faut à cet effet mettre en œuvre des mesures urgentes. Ces mesures concernent le cadre institutionnel et réglementaire, la planification et la gestion du littoral, la préservation de la bande du littoral d'où la lutte contre les extractions de sables marins.

5 CONCLUSION

Le littoral ivoirien rencontre des problèmes environnementaux majeurs dont l'érosion côtière où les activités anthropiques jouent un rôle primordial. Les activités de prélèvements de sable sur les plages ont un impact direct sur les côtes entraînant le déséquilibre du système sédimentaire et donc l'érosion côtière. L'érosion détruit les plages, les habitations et menace la vie des populations riveraines. La surface terrestre demeure le seul cadre de vie des humains. Étant donné que la mer combat journalièrement cette partie restreinte de la terre, il serait donc avantageux pour les hommes de s'engager incessamment dans

la défense de l'environnement. Quelques soient les raisons, il est indispensable, pour la sauvegarde des littoraux, de procéder à l'interruption des activités d'extraction de sables marins. Plusieurs pays ont déjà pris des dispositions pour protéger leurs littoraux. La Côte d'Ivoire peut aussi le faire.

REMERCIEMENTS

Je remercie l'ex-Doyen de l'UFR-STRM Professeur Boffoué pour sa promptitude démontrée face à toutes mes sollicitations. Toute ma gratitude au Professeur MONDE Sylvain de l'Université Félix Houphouët Boigny pour m'avoir permis de bénéficier de ce stage au Centre de Recherche Océanologique duquel découle ce travail. Merci au personnel de ce Centre de Recherche qui a contribué à l'acquisition des données et en particulier merci au Professeur ABE Jacques et au Docteur YAO Salomon. Ma reconnaissance va aussi à l'endroit des agents de la Direction des Mines et de l'énergie de San Pedro pour leur bonne collaboration lors de l'effectivité des travaux sur le terrain. Merci à toute ma famille pour le soutien moral, spirituel et financier. Je remercie infiniment le gouvernement ivoirien qui m'a soutenu financièrement par une bourse durant cette période. Au-dessus de tout, je remercie mon Dieu de m'avoir aidé à accomplir cette étude.

REFERENCES

- [1] Monde S., «Etude et modélisation hydrodynamique de la circulation des masses d'eau dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)», Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cocody, 325 p, 2004.
- [2] Konan K.E., «Impacts des vagues géantes d'Août 2007 sur le cordon littoral ivoirien: cas du littoral d'Abidjan à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire)», Mémoire de Master, Université de Liège, 60 p, 2011.
- [3] Konan K.E., «Etude morpho-dynamique et sensibilité aux événements »exceptionnels« du cordon littoral sableux ivoirien à l'Est d'Abidjan (Abidjan-Aforenou)», Thèse Unique de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, 206 p, 2012.
- [4] Yao K.S., «Etude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental ivoirien entre Tabou et Sassandra: Approches morpho-bathymétriques, sédimentologiques et exoscopiques», Thèse de Doctorat unique, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, 197 p, 2012.
- [5] Touré B., Kouamé K.F., Souleye W., Collet C., Affian K., Ozer A., Rudant J. P., Biémi J., «L'influence des actions anthropiques dans l'évolution historique d'un littoral sableux à forte dérive sédimentaire: la baie de Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire)», *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, n° 3, pp113-126, 2012.
- [6] Abe J., N'doufou, G. H. C., Konan K. E., Yao K. S., Bamba S. B., «Relations entre les points critiques d'érosion et le transit littoral en Côte d'Ivoire», *Africa Geoscience Review*, vol 21, N° 1 et 2, pp 1-14, 2014.
- [7] Mouyalou V. M. T., «Dynamique morphosédimentaire d'un segment côtier sableux: du Lycée Léon Mba (Libreville) à la Sablière (Baie d'Akouango)», Thèse de Doctorat, 339 p, 2017.
- [8] Abe J., «Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan). Essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle», Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Cocody, 337 p, 2005.
- [9] Paskoff R., «Côtes en danger», Colloque « *Pratiques de la Géographie* », Paris, Masson, 250 p, 1993.
- [10] Konan E. K., J. Abe, K. Aka, U. Neumeier, J. Nyssen et A. Ozer, «Impacts des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée», *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, vol 22, n°3, pp 105-120, 2016.
- [11] Lewsey, C, Cid G. et Kruse E., «Assessing climate change impacts on coastal infrastructure in the Eastern Caribbean», *Marine Policy*, vol. 28, n° 25, pp. 393-403, 2004.
- [12] Abé J. et Kaba N., «Côte d'Ivoire, Profil Environnemental de la Zone Côtière», Ed. CEDA, 87 p, 1997.
- [13] Thibault L., Ayman E.-S. et Olivier D., «Impact des activités humaines sur l'érosion littorale», Planet Terre, <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/erosion-littorale.xml>, 2018.
- [14] Duclos P. A., «Impacts morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats marins - Application au bassin oriental de la manche», Thèse de doctorat de l'Université de Rouen, 272 p, 2012.
- [15] Bernon, N. «Le sable, une ressource essentielle en voie de disparition», *Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine*, 2019. [Online] Available: <http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/le-sable,une-ressource-essentielle-en-voie-de-disparition>, 2019.
- [16] Adjoussi P., «Impacts du prélèvement du sable marin sur l'évolution du trait de côte à Yoff: essai d'étude de vulnérabilité, (presqu'île du cap vert, Sénégal)», Mémoire de DEA, p3, 2001.
- [17] Gbessi A., «Impact de la marée exceptionnelle d'Août 2011 sur le périmètre littoral portuaire de San-Pedro», *Bioterre*, Vol.15, no 0, pp. 8-19, 2017.

- [18] Sinane K., David G., Pennober G. et Troadec R., «Fragilisation et modification des formations littorales meubles sur l'île d'Anjouan (Comores): Quand l'érosion d'origine anthropique se conjugue au changement climatique», *Vertigo*, Vol. 10 / no 3, 2011.
- [19] Paskoff R., «La crise des plages: Pénurie de sédiments», *Persée*, pp. 11-15, 1998.
- [20] Cesaraccio M., Thomas Y.-F., Diaw A.-T., Ouegnimaoua L., «Impact des activités humaines sur la dynamique littorale: prélèvements de sables sur le site de Pointe Sarène, Sénégal», *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, vol. 10, n°1, -pp. 55-63, 2004.
- [21] Wognin A. I. V., Aoua S. C., Akobé A. C., Mondé S. et Aka K., «Morphologie du littoral et cinématique du trait de côte de Vridi à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire)», *Journal of environmental hydrology*, vol. 21, pp 1-10, 2013.
- [22] Valero C., «Les granulats marins, ressources spécifiques», *ISEMAR*, n° 228, p1, 2021.
- [23] Dejeant-Pons M., «Annuaire Français de Droit International», *Persée*, n° 33, pp. 689-718, 1987.
- [24] Bayeba M. C., «*Gestion intégrée des zones côtières en Afrique de l'Ouest: le cas de la Côte d'Ivoire*», Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 639 p, 2019.
- [25] Dauvin J. -C., «Gestion intégrée des zones côtières: outils et perspectives pour la préservation du patrimoine naturel», Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 352 p, 2002.

Development of a web server load balancing system

Thomas LOBA¹, N'Golo KONATE^{1,2}, Mory Richard BATIEBO^{2,3}, and Romaric De Judicael BITA^{2,4}

¹Mathématiques- Informatiques, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Informatiques et Sciences du Numérique, Université Virtuelle de Côte d'Ivoire (UVCI), Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The exponential growth of Internet traffic generated by a plethora of interconnected apps poses a size challenge, making effective management of incoming requests by a single server difficult, even for the most reputable businesses. To ensure uninterrupted service delivery, IT teams are turning to the deployment of many servers operating inside a distributed system framework. Charge balancing appears to be the best strategy for capitalizing on increasing data traffic, with the dual goal of distributing computation costs over several servers and improving overall infrastructure performance. In order to achieve this goal, a range of solutions, including specialized hardware, dedicated software, or a combination of the two, may be envisaged. The combined use of keepalived with HAProxy has shown a notable reduction in recovery time following a server panel, minimizing stop time to only one second. Furthermore, our investigation reveals that in low-traffic scenarios, the Round Robin algorithm performs better than HAProxy and keepalived, but in high-traffic scenarios, the source IP technique leads. This idea emphasizes how wise it is to evaluate three algorithms and select the best one based on the traffic's fluctuating bit rate.

KEYWORDS: High Availability, Load balancing, HA Proxy, keepalived.

1 INTRODUCTION

Daily business ruling faces the use of a bunch of remote software. Those softwares are mostly hosted in remote software. Moreover, the Covid-19 crisis has increased the number of remote work. From 2019 to early 2023, the share of postings that say new employees can work remotely one or more days per week rose more than three-fold in the U.S and by a factor of five or more in Australia, Canada, New Zealand and the U.K (Hansen, 2023). Since the computers making up the infrastructure have different characteristics, it's better to take advantage of each server's strength. The quest for optimum responsiveness to these requests calls for establishing a configuration with multiple web assigned a volume of requests per its specifications, to ensure efficient use of their respective capacities.

Load balancing is dedicated to distributed and parallel systems to manage the web cluster (Singh, 2022) (Mbarek, 2018). The entrance point distributes the load between servers using various algorithms. However, the increasing of remote services has made load balancing and, in turn, High Availability (HA) crucial. Therefore, this study is to enhance HA through the joint use of HAProxy as a load balancer and keepalived for failover. To achieve this objective, the different scenarios will be compared. Indeed, a study conducted by Google shows that, after the three first seconds of a request, the probability that a user will close the application is 32%.

The remainder of this paper is organized as follow, section II will be dedicated to a review of different method to achieve HA. Then the testing environment will be described. Finally, the different results from each scenario will be analysed and compared.

2 LITERATURE REVIEW

Load balancing, a fundamental task in the realm of web server clusters, is the process of equitably distributing infrastructure workloads among diverse servers. The primary objective is to ensure the efficient utilization of resources within the cluster system, ultimately enhancing its performance by expediting request processing (Patil, 2013).

At the heart of load balancing lies the load balancer, a critical component capable of identifying the attributes of each server based on the underlying infrastructure architecture (Anselmi, 2020). When a request is received by the load balancer, it skillfully routes it to an appropriate server using a predefined algorithm. The selection criteria employed in this process determine the server best suited to handle the incoming request.

Subsequently, every subsequent request is likewise routed based on these established criteria.

Within the context of a web server cluster, the load balancer serves as the central processing hub. It is endowed with a Virtual IP (VIP), which serves a dual purpose—enabling the forwarding of requests and discerning incoming requests through a private address. The placement of this address within the protocol hierarchy varies depending on the architecture. This arrangement results in the system being perceived as a unified entity by end-users, even though it comprises multiple servers working in unison.

The evaluation of load balancing algorithms predominantly hinges on the measurement of workload (Alssaheli, 2022), although multiple other factors come into play when assessing the algorithm's overall performance.

The workload evaluation is based on the following criteria (Song, 2022):

- The number of open connections.
- The current usage or the processor total capacity: It measure the processor workload in percentage.
- The current memory or the total memory: this indicates the ratio of memory used to total memory.
- The bandwidth: this measure the quantity of data transmit throughout the server.
- The time to respond.
- The number of process.

Based on these evaluation criteria, load balancing is classified as statics and dynamics (Talaat, 2022):

- Static load balancing algorithms used the compilation environment to estimate the time for each task. Moreover, the workload is shared equitably between the servers. However, it cannot manage the workload change during the process. This algorithm is attractive because of their ease of implementation and low running costs. But they are limit by their incapacity to predict the load balancing and it's necessary to know the resources stability.
- Dynamic load balancing: Theses algorithms decisions are based on the system current state. They use information's from the different servers as the processor capacity to share the requests dynamically. These algorithms are suitable for heterogeneous networks.

If the dynamic algorithm are more efficacies than the static one, the execution time in dynamical algorithms can increase due the complexity of the algorithms and the times to collect the information on the system (Mena, 2022).

There are several technic for load balancing. It can be achieved through a materiel-based approach with F5 BIG-IP, Citrix ADC, Barracuda Load Balancer ADC. The cited brand offers a bunch of hardware with built in features for load balancing. As this paper is not devoted to this approach, we won't go deep in the configuration.

Coming to algorithm based approach in load balancing, Random is the simplest one, however it has several flaws which.

3 PROPOSED ARCHITECTURE

In order to construct a software model that will allow the incoming client load to be efficiently dispersed throughout the web server system, we will need to include several architectural design-specific characteristics and other information. Figure 1 is design for a load balancing scenario and figure 2 is designed for a high availability scenario

In Figure 1, the HTTP request coming from a client will be dispatched on the cluster using HAProxy or Keepalived. The selection of an algorithm other the other will depend on the test result. However, there is some technical specifications on each algorithms configuration

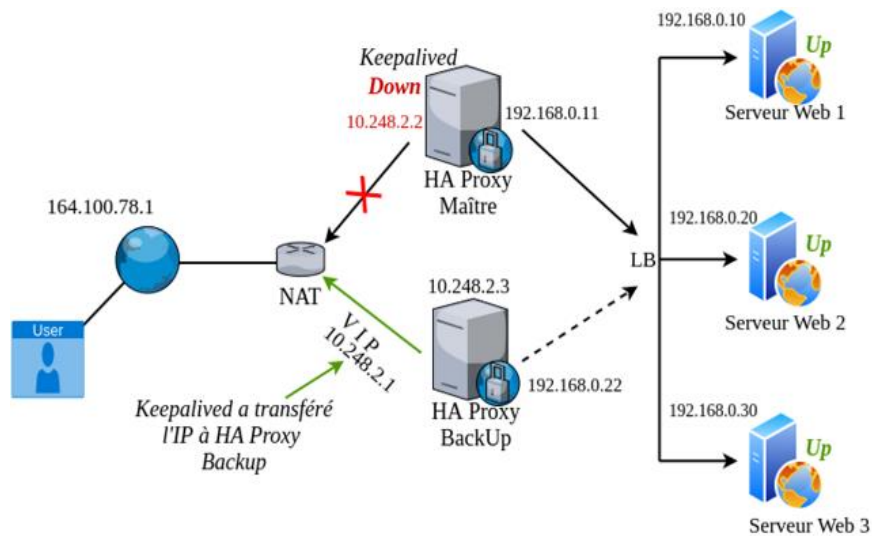


Fig. 1. Test Environment Architecture

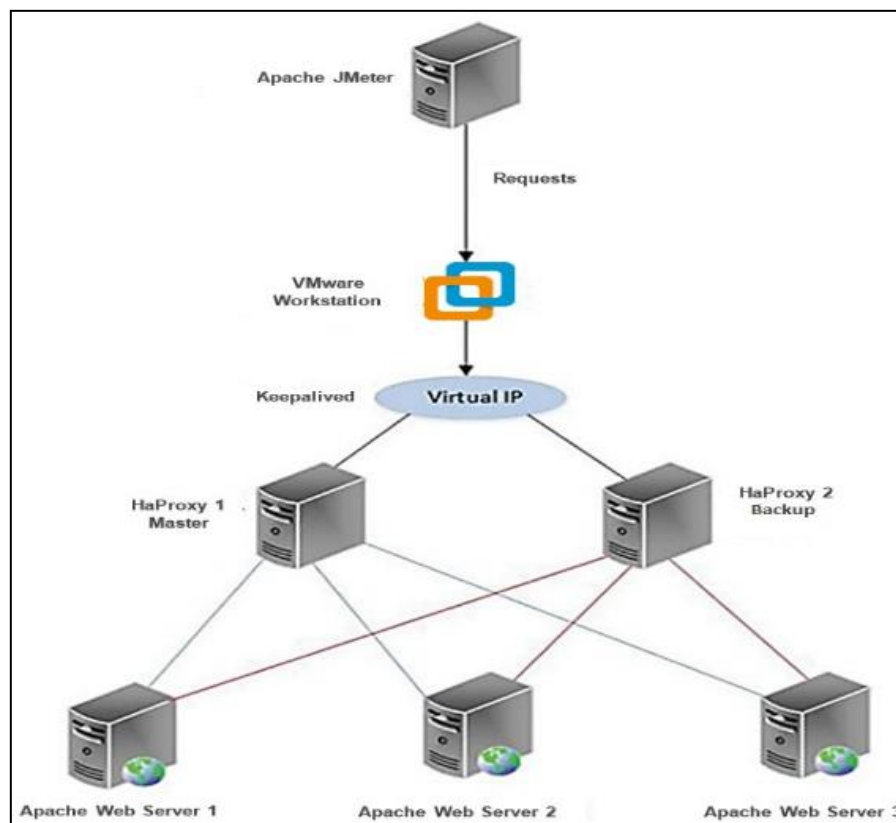


Fig. 2. High Availability Test

3.1 HA PROXY

HAProxy can be thought of as a two-half architecture, comprising a front-end and a back-end. The front-end is responsible for direct communication with the client, listening to incoming requests and applying the rules defined at this level. These rules may include blocking certain requests, modifying headers or collecting statistics.

In our configuration shown in figure 2, once the request has been received by the HAProxy front-end, it is passed on to the back-end, which is connected to the Web servers. This is where the load balancing strategy is applied, allowing the appropriate server to be chosen for the request. Once the server has been chosen, the request is sent to it.

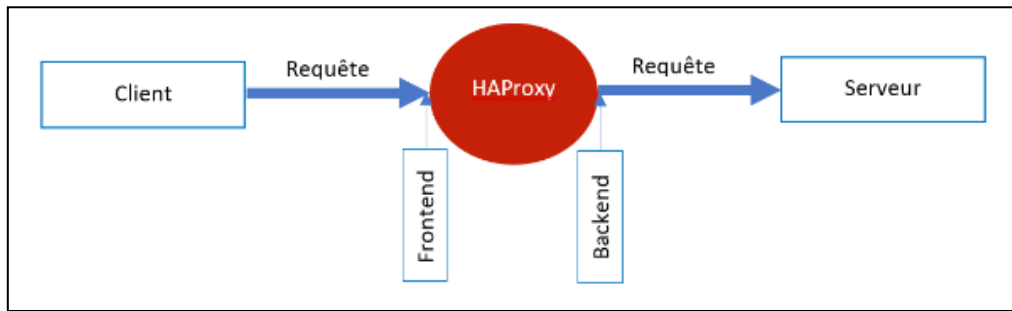


Fig. 3. HA Proxy operation

After the server has processed the request, the response is sent back to HAProxy. At this point, HAProxy can perform some additional processing on the response, or send it directly back to the client via the frontend.

3.1.1 SCHEDULING'S ALGORITHMS

HAProxy offers more than nine scheduling algorithms, among which the most commonly used are:

- Round robin (RR): This is the most frequently used algorithm, distributing requests equally among the different servers, one by one in a loop. By default, each server is automatically addressed in turn, but it is possible to weight the servers to optimize performance in the case of heterogeneous servers.
- Least connection: This algorithm selects the server with the lowest number of active connections. In this way, the request is forwarded to the server with the lightest load, enabling more dynamic load balancing.
- Source: This algorithm uses the client's source IP address to determine the destination server. By hashing the source IP address, you can send the client to the same server for each request. This can be useful for session persistence, although its scope is limited.
- URI: In this algorithm, the server is selected according to the URI of the HTTP request. A hash of the URI is calculated (either the left-hand part of the URI only, before the question mark, or the entire URI including all parameters). This determines the server to which the request should be sent. This method is commonly used in caching proxies to maximize hits.

These algorithms offer a variety of possibilities for request scheduling in HAProxy, allowing users to choose the one best suited to their specific needs

3.1.2 SESSION PERSISTENCE

HAProxy offers several methods for ensuring session persistence, also known as "Stickiness". These methods ensure that the client remains connected to the same server for each request, thus avoiding disconnections caused by landing on a different server that does not contain the client's session information.

Session persistence can be based on various parameters, such as the source IP address, URL, cookies, sessions, etc. These parameters are used to determine the correct session. These parameters are used to determine the correct server to which the client should be redirected, thus ensuring continuity in the client-server relationship.

To manage this persistence, HAProxy uses a table called the "stickiness table" at server level. This table contains the mapping information between the client and the associated server, enabling client-specific data to be stored. When a new request arrives, HAProxy uses this information to route the request to the appropriate server, thus guaranteeing the persistence of the client's session. This table contains mapping information between the client and the associated server, enabling client-specific data to be stored. So, when a new request arrives, HAProxy uses this information to route the request to the appropriate server, thus guaranteeing the persistence of the client's session.

3.1.3 HIGH AVAILABILITY

Simple load balancing algorithms increase the risk of server downtime, as they increase the likelihood that a client will be directed to a server that is unavailable. To ensure that servers are always available to customers, and to avoid any interruption in service, HAProxy offers mechanisms to ensure high availability.

HAProxy implements high-availability mechanisms by periodically testing the status of servers through so-called "health checks". These tests verify that servers are operating correctly before sending requests. In this way, only fully operational servers actually receive client requests.

What's more, HAProxy makes it possible to remove a failed server (a node) without affecting the overall operation of the architecture. When a failure is detected, HAProxy automatically activates backup servers, ensuring continuity of service despite a server outage.

By default, when a server goes down, HAProxy distributes the load evenly over the remaining servers. This maintains a balanced load distribution and prevents excessive overloading of the remaining servers.

3.2 KEEPAIVED

Keepalived is an open-source application used to ensure high availability and failover in network environments. It operates as a Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP), enabling multiple routers to form a group and work together as a virtual entity to provide a shared, redundant IP address.

Keepalived is used to ensure a smooth transition between load balancers (Saeid & Yahya, 2018). It avoids downtime and major interruptions by quickly detecting failures and automatically switching traffic to a working backup router.

The Keepalived operating process is based on the election of a master router within the VRRP group. The Master router manages the shared virtual IP address and handles network traffic. The other routers in the group act as backup routers, ready to take over if the master router fails.

Keepalived uses VRRP Advertisements to periodically signal that it is still active as the master router. Other routers listen to these advertisements to determine whether the master router is still available. If the master router fails (for example, if it stops sending advertisements), the other routers in the group quickly detect the failure and trigger the election process to choose a new master router from among the backup routers.

In addition to providing high availability and failover, Keepalived can be used with LVS (Linux Virtual Server) to provide load balancing between several active servers, improving performance and optimizing resource utilization.

Keepalived is widely used in enterprise network environments, data centers and cloud infrastructures, where service availability is critical. Thanks to its flexible configuration, easy integration with Linux systems and open-source status, Keepalived has become an essential tool for guaranteeing the redundancy, reliability and resilience of critical infrastructures.

3.3 APACHE WEB SERVER

The long-established web server that has dominated the market for over a decade in terms of the number of web pages hosted. Its dominant position can be explained by the habits of administrators, but also by the plethora of optional modules available, including the Modsecurity application firewall (Guionnet, 2013).

3.3.1 EVALUATION'S TOOLS

(Sharma et al., 2016) focused on the comparison of four load testing tools, WebLOAD, Apache Jmeter, HP Load Runner and Grinder. The main objective of their paper is to study these load testing tools and select the best among them. They used certain parameters to evaluate these tools, such as unlimited load generation, server monitoring, ease of use and cost. At the end of their comparison, the authors selected JMeter as the best tool because it is free, has good load generation and user interface. For the above reasons, we have decided to use JMeter as a performance testing tool in the remainder of our work.

3.4 TEST SCENARIOS

To avoid congestion, we used a load balancing tool such as HAProxy to intercept user requests and distribute them evenly across the servers.

Three load-balancing algorithms (Round Robin, Least Connection and Source) will each be tested on the load balancer, then the results obtained with each algorithm will be analyzed in order to choose the most suitable according to the metrics selected. In general in this context, there is practically only one method for testing the performance of a load balancing algorithm (Saeid & Yahya, 2018). The method involves generating loads in terms of requests to web servers. Query generation will take place via the Jmeter load testing tool. Depending on the algorithm design, requests will be forwarded to the appropriate servers (Madani & Jamali, 2018).

To avoid the load balancer being a single point of failure, we have duplicated it to ensure high availability. We will study the effect of failure of the master load balancer on end-user QoS.

Each time, display the results obtained in the form of graphs, curves, etc. Analyze and interpret the results to select the most appropriate algorithm: vary the number of simultaneous requests and use the graphs and statistics generated.

4 RESULT AND DISCUSSION

4.1 RESULT

The tests are conducted in three cases, 1000 requests, 1500 requests and 2000 request

For 1000 request in figure 4, the source algorithm performs less well than the other two. Load balancing with the Round-Robin algorithm performs best when handling traffic of 1,000 requests per minute. Compared to load balancing with the Round-Robin algorithm, the least connection algorithm has a shorter reaction time.

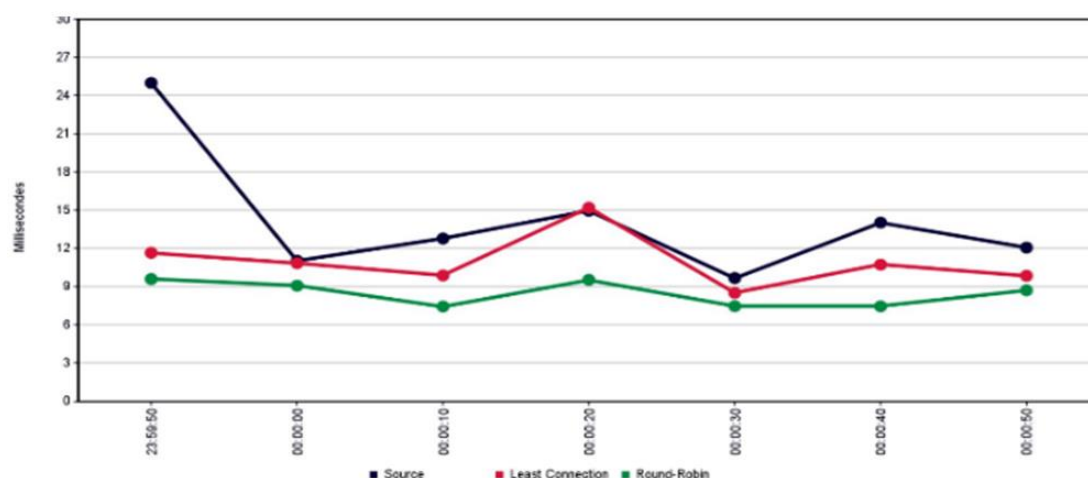


Fig. 4. Performance evolution for 1000 request

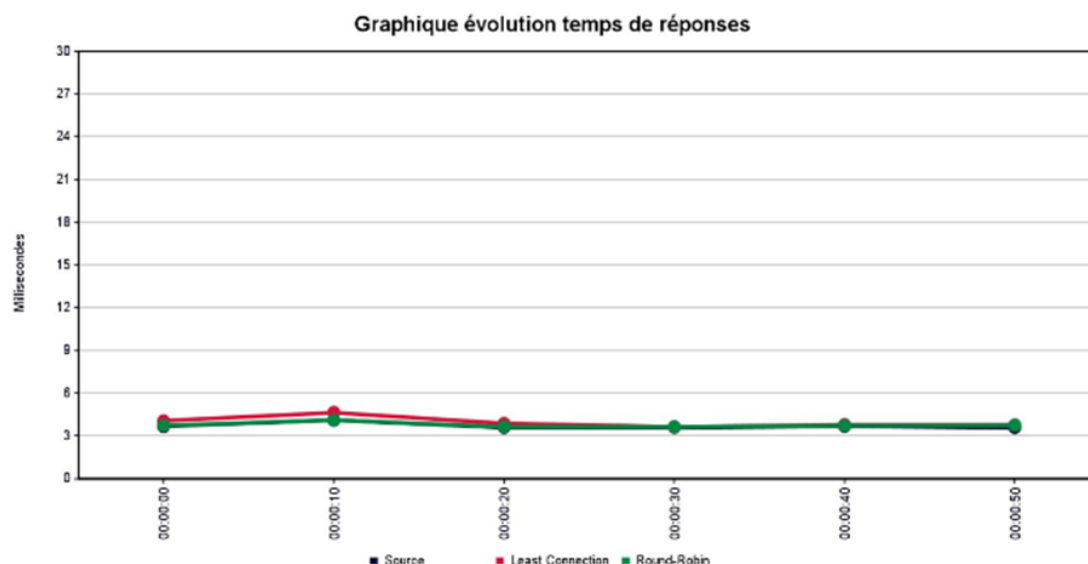


Fig. 5. Performance evolution for 1500 request

For 1500 request in figure 5, the algorithms performance are similar as time progress.

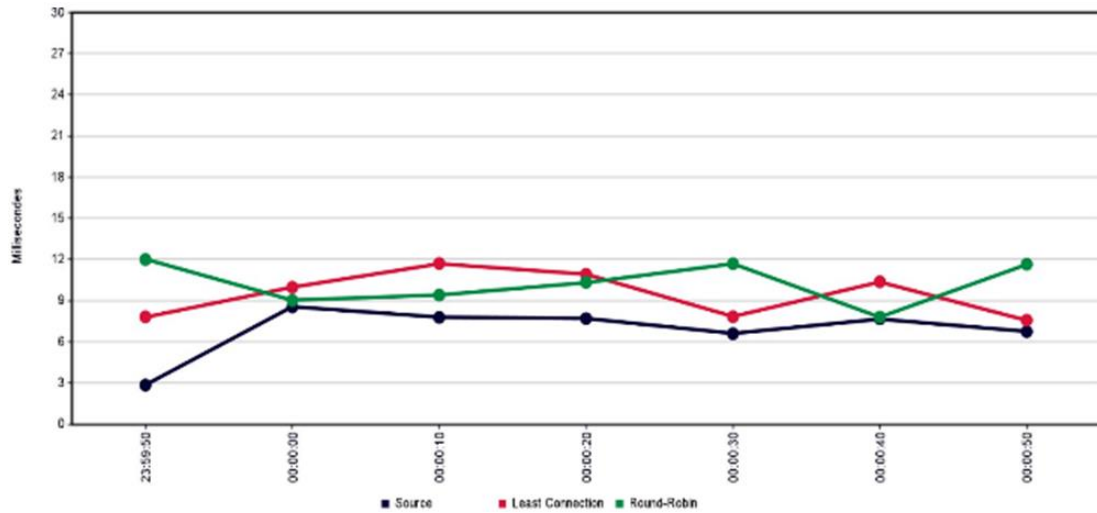


Fig. 6. Performance evolution for 2000 request

In figure 7, The IP Source algorithm outperformed the other two algorithms over the entire duration of the performance test.

4.2 DISCUSSION

In Figure 2 scenario, we set up two HAProxy load balancers to guarantee high availability using the Keepalived tool. Keepalived assigned a virtual IP address to both load balancers and designated the first load balancer as master and the second as backup,

We use JMeter to send 10,000 requests to the master load balancer. During this operation, we'll simulate a failure by shutting down the server. The aim is to quickly detect the failover and measure the time elapsed between the main server becoming unavailable and the backup server taking over.

The server failover is illustrated in figure 8 and failed request in figure 9.

```
sept. 23 15:50:23 haproxy2 Keepalived_vrrp[1387]: VRRP_Script(reload_haproxy) succeeded
sept. 23 15:50:26 haproxy2 Keepalived_vrrp[1387]: VRRP_Instance(VI_1) Transition to MASTER STATE
sept. 23 15:50:27 haproxy2 Keepalived_vrrp[1387]: VRRP_Instance(VI_1) Entering MASTER STATE
```

Fig. 7. HA Proxy Failover



Fig. 8. Unsuccessful http requests

Figure 7 and figure 8 show that during the test over 10,000 requests, 60 requests failed, i.e. 0.6% of all requests, and it only took 1s for the second server to become the master.

Therefore, IP Source performs better for high traffic, while the Round Robin algorithm offers better response times for low to medium traffic. This underlines the importance of choosing the right load balancing algorithm according to workload characteristics.

However, the efficiency of the load balancing algorithm can vary considerably depending on the usage scenario. The choice of algorithm must therefore be carefully considered in relation to the specific needs of the application.

The fast failover time (1 second) and low number of failed requests (0.6%) are positive indicators of the responsiveness of our infrastructure. This shows that, despite the failure of the master HAProxy server, the user experience remains good. However, these results may vary depending on application complexity and workload. It is important to regularly monitor and test our infrastructure to ensure that it always meets high availability requirements

5 CONCLUSION

In this work, we used the HAProxy load balancer. More specifically, we unveiled the load-balancing algorithms it uses and examined three of them in real-life contexts with various workload intensities and under homogeneous back-end servers.

In general load balancing scenarios in a homogeneous server environment, the source and round robin algorithms give the lowest response times.

As part of our failover system design, we use two load balancing servers to guarantee high availability of our infrastructure. Our approach is to minimize downtimes, keeping them to a maximum of 1s, whether in the event of a loss of communication or the failure of one of the load balancing servers

REFERENCES

- [1] Ali, S. A. (2023). Navigating the Multi-Cluster Stretched Service Mesh: Benefits, Challenges, and Best Practices in Modern Distributed Systems Architecture. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 98--125.O. V. ADEOLUWA, O. S. ABODERIN, and O. D. OMODARA, «An Appraisal of Educational Technology Usage in Secondary Schools in Ondo State (Nigeria),» *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 2, no. 3, pp. 265–271, 2013.
- [2] Anselmi, J. (2020). Combining size-based load balancing with round-robin for scalable low latency. *Ieee Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 886-896.
- [3] Hansen, S. a. (2023). *Remote work across jobs, companies, and space*. National Bureau of Economic Research.
- [4] Patil, S. &. (2013). Cluster performance evaluation using load balancing algorithm. *International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*, 104-108.
- [5] Samir, R. a.-H. (2023). Cluster-based multi-user multi-server caching mechanism in beyond 5G/6G MEC. *Sensors: MDPI*, 996.
- [6] Singh, P. a. (2022). A fog-cluster based load-balancing technique. *Sustainability: MDPI*, 7961.

Détermination de caractères phénotypiques et zootechniques chez des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan

[Determination of phenotypic and zootechnical characteristics in caprine breed slaughtered at the Port-Bouët slaughterhouse for butchery in Abidjan city]

Yapo Akaffou¹⁻²⁻³, Moussa Komara¹⁻²⁻³, Bi Irie Van Dexter Youan¹⁻²⁻³, and Komissiri Dagnogo⁴

¹Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Biologie et Cytologie Animale, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³Pôle de Recherche Production Animale, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

⁴Direction des Abattoirs et de l'Hygiène Alimentaire du District Autonome d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study was the determination of phenotypic and zootechnical characteristics of the caprine breed slaughtered for butchery in Abidjan city. Thus, a study was done on 160 caprine at the Port-Bouët slaughterhouse in the city of Abidjan. Then, the breed, coat colour, age, presence or not of horns, goatee and pendants, as well as the measurements, height at the withers and thoracic perimeter were determined. Descriptive statistics of these variables were produced. Followed by a Chi square test for qualitative variables. Furthermore, an ANOVA was performed for the quantitative variables. The results show that caprine of the Sahelian breed (90%) are more slaughtered than those of the Djallonké breed (10%). Coat colours commonly encountered are black-brown (43.75%) for Djallonké breed and brown-piebald (53.47%) for the Sahelian breed. Caprine breed over four years old age (89.38%) are more slaughtered than others. The tallest caprine on legs are those from Sahelian breed (80.24 cm), males (80.10 cm) and those from 3 to 4 years old age (78.10 cm). The thoracic perimeter was 77.82 cm in caprine of the Sahelian breed, 78.44 cm for males and 78.10 cm for caprine breed over 4 years old age. The height at the withers and the thoracic perimeter are influenced by breed or sex ($p < 0.05$). In conclusion, the caprine breed slaughtered at the Port-Bouët slaughterhouse showed various breeds, sex, coat colours and ages.

KEYWORDS: caprine breed, characterisation, phenotype, height at the withers, Abidjan city.

RESUME: L'objectif de cette étude était la détermination de caractères phénotypiques et zootechniques chez des caprins abattus pour la boucherie dans la ville d'Abidjan. Pour cela, une étude a été réalisée sur 160 caprins à l'abattoir de Port-Bouët dans la ville d'Abidjan. Ainsi, les caractéristiques race, couleur de la robe, âge, présence ou non de cornes, de barbiche et de pendeloques, ainsi que les mensurations, hauteur au garrot et périmètre thoracique ont été déterminés. Une statistique descriptive de ces variables a été réalisée. Suivie d'un test de Khi 2 pour les variables qualitatives. Ensuite, une ANOVA a été réalisée pour les variables quantitatives. Les résultats montrent que les caprins de race Sahélienne (90%) sont plus abattus que ceux de race Djallonké (10%). Les couleurs de robe couramment rencontrées sont le brun-noir (43,75%) pour les caprins de race Djallonké et le pie-brun (53,47%) pour la race Sahélienne. Les caprins de plus de quatre ans (89,38%) sont plus abattus. Les caprins les plus hauts sur pattes sont ceux de race Sahélienne (80,24 cm), les mâles (80,10 cm) et ceux de plus de quatre ans (78,10 cm). Le périmètre thoracique a été de 77,82 cm chez les caprins de race Sahélienne, 78,44 cm pour les mâles et 78,10 cm pour les caprins de plus de quatre ans. La hauteur au garrot et le périmètre thoracique sont influencés par la race ou le sexe ($p < 0,05$). En conclusion, les caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët sont de races, sexes, couleurs de robe et âges variés.

MOTS-CLEFS: caprins, caractérisation, phénotype, hauteur au garrot, ville d'Abidjan.

1 INTRODUCTION

L'abattage des caprins à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan est un sujet d'intérêt majeur dans le domaine de la sécurité alimentaire. Dans ce contexte, la connaissance approfondie des caractéristiques phénotypiques et zootechniques des caprins destinés à la boucherie revêt une importance primordiale pour optimiser la fourniture de viande de qualité tout en assurant la durabilité environnementale et la satisfaction des besoins des consommateurs. Les abattoirs jouent ainsi un rôle central dans cette chaîne, en tant que lieu où les animaux sont abattus en vue de leur consommation par les populations.

Une étude préliminaire [1] a été menée pour explorer les aspects initiaux des caractéristiques phénotypiques et zootechniques des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët, dans la ville d'Abidjan. Cette étude préliminaire [1] a de ce fait fixé les bases de la connaissance et la compréhension des paramètres tels que la race, l'âge, la hauteur au garrot, le périmètre thoracique des caprins, ainsi que d'autres indicateurs. Ainsi, il est ressorti de cette étude préliminaire que deux races caprines sont abattues à l'abattoir de Port-Bouët. Ce sont la race Sahélienne (94,17%) et la race Djallonké (5,83%). Plusieurs couleurs de la robe ont été mises en évidence au niveau de chaque race avec une dominance de brun-noir et pie-noir (28,57%) au niveau de la race Djallonké. Chez les caprins de race Sahélienne, le pie-brun a été le plus observé (50,44%). Elle a également révélé cinq (5) classes d'âge allant de moins d'un an à plus de quatre ans, dont les plus nombreux ont été les caprins de plus de quatre ans (73,33%).

À notre connaissance, il n'y a pas d'autres études de caractérisation phénotypique et zootechnique réalisées à l'abattoir de Port-Bouët. C'est pourquoi, dans la continuité de cette étude préliminaire [1], celle-ci vise donc à approfondir notre connaissance et la compréhension des caractéristiques phénotypiques et zootechniques des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan. Cette étude s'attachera à explorer également des éléments tels que la race, le sexe, la couleur de la robe, l'âge, la présence ou non de cornes, barbiche, pendeloques ainsi que la hauteur au garrot et le périmètre thoracique des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été réalisée du 25 avril au 19 mai 2023 sur 160 caprins à l'abattoir de Port-Bouët à Abidjan en Côte d'Ivoire. Durant l'étude, deux (2) séances ont été réalisées par semaine le mardi et le vendredi. Chaque séance se déroulait de 4h à 7h du matin. Pendant chaque séance, 20 caprins ont été utilisés et elles se sont déroulées en deux principales phases.

Lors de la première phase dite d'observation individuelle et directe avant l'abattage, un ensemble de caractères phénotypiques ont été déterminés. Ceux-ci ont concerné la race, le sexe, la couleur de la robe, la présence ou non de cornes, la présence ou non de barbiche et la présence ou non de pendeloques. Ensuite, des mensurations ont été faites. Ainsi, deux (2) mensurations ont été effectuées à l'aide d'un ruban zoométrique de marque ANImeter®, mesurant 250 cm de longueur. Il s'est agi de mesurer la hauteur au garrot et le périmètre thoracique de chaque caprin.

La deuxième phase qui a eu lieu après l'abattage a quant à elle consisté en la détermination de l'âge à partir de l'examen des dents (nombre d'incisives de lait et adultes inférieures) du caprin selon la méthode décrite par [2].

Après chaque séance, les données recueillies de chaque caprin ont été enregistrées dans une même feuille du logiciel Excel version 2021. À la fin de l'étude, des analyses descriptives des variables ont été effectuées avec le logiciel Excel version 2021.

Après chaque séance, les données recueillies de chaque caprin ont été enregistrées dans une même feuille du logiciel Excel version 2021. À la fin de l'étude, des analyses descriptives des variables ont été effectuées avec le logiciel Excel version 2021.

En outre, le logiciel R, version 4.2.3 a été utilisé pour les analyses statistiques. En effet, un test de Khi 2 a été effectué pour les variables qualitatives (couleur de la robe, présence ou non de cornes, présence ou non de barbiche, présence ou non de pendeloques). Une analyse de la variance (ANOVA) à plusieurs facteurs a ensuite été effectuée afin de déterminer les effets de la race, du sexe, de l'âge et les interactions éventuelles sur la hauteur au garrot et le périmètre thoracique. Ensuite, des analyses de la variance à un facteur (ANOVA 1) avec comparaison multiple des moyennes ont été faites pour chaque facteur et variable (hauteur au garrot et périmètre thoracique). Enfin, un test de corrélation de Pearson a été réalisé entre la hauteur au garrot et le périmètre thoracique des caprins abattus pour chacune des races rencontrées.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFECTIFS ET PROPORTIONS DES RACES CAPRINES ABATTUES À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT

Le tableau 1 présente les effectifs et les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan.

Tableau 1. *Effectifs et proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët*

Races	Effectifs	Proportions (%)
Djallonké	16	10
Sahélien	144	90

3.2 EFFECTIF ET PROPORTION DE SEXES DES CAPRINS ABATTUS À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT

Le tableau 2 présente les effectifs et les proportions de sexes des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan.

Tableau 2. *Effectif et proportion de sexes des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët*

Sexes	Effectifs	Proportions (%)
Femelle	50	31,25
Mâle	110	68,75

3.3 PROPORTIONS DE COULEURS DE LA ROBE DES CAPRINS ABATTUS À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT SELON LES RACES

Le tableau 3 présente les couleurs de la robe retrouvées chez les caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan ainsi que leurs proportions en fonction des races.

Tableau 3. *Proportions de couleurs de la robe des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët selon les races*

Couleurs de la robe	Proportions (%)		Significativité
	Djallonké	Sahélien	
Blanc	0	9,72	**
Blanc-brun	12,5	3,47	*
Blanc-brun-noir	0	2,78	NS
Brun-noir	43,75	0	***
Brun-pie	31,25	22,22	NS
Noir-pie	0	2,08	NS
Pie-brun	6,25	53,47	***
Pie-noir	6,25	6,25	NS

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; NS: $p > 0,05$

3.4 EFFECTIFS ET PROPORTIONS PAR ÂGE DES CAPRINS ABATTUS À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT

Le tableau 4 présente les effectifs et les proportions par âge des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan.

Tableau 4. *Effectifs et proportions par âge des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët*

Âges (an)	< 1	[1-2 [	[2-3 [	[3-4 [	≥ 4
Effectifs	5	3	4	5	143
Proportions (%)	3,12	1,88	2,5	3,12	89,38

3.5 PROPORTIONS DES RACES CAPRINES ABATTUES À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT PORTANT DES CORNES OU NON

Le tableau 5 présente les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant des cornes ou non en intra-race.

Tableau 5. *Proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant des cornes ou non en intra-race*

	Proportions (%)		p-value
	Présence de cornes	Absence de cornes	
Djallonké	81,25 ^a	18,75 ^b	4,1.10 ⁻¹⁰
Sahélien	100 ^a	0 ^b	< 2,2.10 ⁻¹⁶

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs sur la même ligne

Le tableau 6 présente les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant des cornes ou non en inter-races.

Tableau 6. *Proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant des cornes ou non en inter-races*

	Proportions (%)		p-value
	Djallonké	Sahélien	
Présence de cornes	81,25 ^a	100 ^a	0,16
Absence de cornes	18,75 ^a	0 ^b	1,49.10 ⁻⁵

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs sur la même ligne

3.6 PROPORTIONS DES RACES CAPRINES ABATTUES POSSÉDANT UNE BARBICHE OU NON

Le tableau 7 présente les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant une barbiche ou non en intra-race.

Tableau 7. *Proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant une barbiche ou non en intra-race*

	Proportions (%)		p-value
	Présence de barbiche	Absence de barbiche	
Djallonké	18,75 ^b	81,25 ^a	4,10.10 ⁻¹⁰
Sahélien	51,39 ^a	48,61 ^a	0,78

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs sur la même ligne

Le tableau 8 présente les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant une barbiche ou non en inter-races.

Tableau 8. Proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant une barbiche ou non en inter-races

	Proportions (%)		p-value
	Djallonké	Sahélien	
Présence de barbiche	18,75 ^b	51,39 ^a	9,72.10 ⁻⁵
Absence de barbiche	81,25 ^a	48,61 ^b	4,18.10 ⁻³

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs sur la même ligne

3.7 PROPORTIONS DES RACES CAPRINES ABATTUES PRÉSENTANT DES PENDELOQUES OU NON

Le tableau 9 présente les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët présentant des pendeloques ou non en intra-race.

Tableau 9. Proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant des pendeloques ou non en intra-race

	Proportions (%)		p-value
	Présence de pendeloques	Absence de pendeloques	
Djallonké	12,5 ^b	87,5 ^a	6,38.10 ⁻¹⁴
Sahélien	55,56 ^a	44,44 ^a	0,26

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs sur la même ligne

Le tableau 10 présente les proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët présentant des pendeloques ou non en inter-races.

Tableau 10. Proportions des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët portant des pendeloques ou non en inter-races

	Proportions (%)		p-value
	Djallonké	Sahélien	
Présence de pendeloques	12,5 ^b	55,56 ^a	1,79.10 ⁻⁷
Absence de pendeloques	87,5 ^a	44,44 ^b	1,77.10 ⁻⁴

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs sur la même ligne

3.8 EFFET DE LA RACE, DU SEXE ET DE L'ÂGE DES RACES CAPRINES ABATTUES À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT SUR LA HAUTEUR AU GARROT

Aucune interaction n'a été observée entre les facteurs race – sexe, race – âge et sexe – âge concernant la hauteur au garrot des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët.

Le tableau 11 présente l'effet de la race des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur la hauteur au garrot. Les analyses statistiques ont ainsi révélé un effet significatif des races caprines sur la hauteur au garrot.

Tableau 11. Effet de la race de caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur la hauteur au garrot

Races caprines	Hauteur au garrot (cm)	p-value
Djallonké	56,37 ^b ± 3,11	< 2.10 ⁻¹⁶
Sahélien	80,24 ^a ± 5,98	

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs de la même colonne

Le tableau 12 présente l'effet du sexe des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët sur la hauteur au garrot. Les analyses statistiques ont également révélé un effet significatif du sexe sur la hauteur au garrot.

Tableau 12. Effet du sexe de caprins de race Djallonké et de race Sahélienne abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur la hauteur au garrot

Sexes	Hauteur au garrot (cm)	p-value
Mâle	80,10 ^a ± 8,39	2,43.10 ⁻⁶
Femelle	72,92 ^b ± 9,05	

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs de la même colonne

Le tableau 13 présente l'effet de l'âge des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët sur la hauteur au garrot. Les analyses statistiques n'ont pas révélé d'effet de l'âge sur la hauteur au garrot.

Tableau 13. Effet de l'âge de caprins de race Djallonké et de race Sahélienne abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur la hauteur au garrot

Âges (an)	Hauteur au garrot (cm)	p-value
< 1	76,20 ± 7,72	0,91
[1-2 [	76,20 ± 7,72	
[2-3 [	75,75 ± 4,92	
[3-4 [	75,60 ± 5,89	
≥ 4	78,10 ± 9,53	

3.9 EFFET DE LA RACE, DU SEXE ET DE L'ÂGE DE CAPRINS ABATTUS À L'ABATTOIR DE PORT-BOUËT SUR LE PÉRIMÈTRE THORACIQUE

Aucune interaction n'a été observée entre les facteurs race – âge et sexe – âge concernant le périmètre thoracique des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët. Par contre, une interaction a été observée entre les facteurs race et sexe ($p = 3,25.10^{-4}$).

Le tableau 14 présente l'effet de la race des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur le périmètre thoracique. Les analyses statistiques ont ainsi révélé qu'il y a un effet significatif des races caprines sur le périmètre thoracique.

Tableau 14. Effet de la race de caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur le périmètre thoracique

Races caprines	Périmètre thoracique (cm)	p-value
Djallonké	66,87 ^b ± 3,99	2,51.10 ⁻⁹
Sahélienne	77,82 ^a ± 6,78	

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs de la même colonne

Le tableau 15 présente l'effet du sexe des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët sur le périmètre thoracique. Les analyses statistiques ont cependant montré qu'il existe un effet significatif du sexe sur la hauteur au garrot.

Tableau 15. Effet du sexe de caprins de race Djallonké et de race Sahélienne abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur le périmètre thoracique

Sexes	Périmètre thoracique (cm)	p-value
Mâle	78,44 ^a ± 4,78	6,6.10 ⁻⁶
Femelle	72,96 ^b ± 7,65	

^a et ^b indiquent une différence significative entre les valeurs de la même colonne

Le tableau 16 présente l'effet de l'âge des races caprines abattues à l'abattoir de Port-Bouët sur le périmètre thoracique. Les analyses statistiques ont révélé qu'il n'y a aucun effet de l'âge des caprins abattus sur le périmètre thoracique.

Tableau 16. *Effet de l'âge des caprins de race Djallonké et de race Sahélienne abattus à l'abattoir de Port-Bouët sur le périmètre thoracique*

Âges (an)	Périmètre thoracique (cm)	p-value
< 1	76,20 ± 7,72	0,47
[1-2 [	75,33 ± 3,21	
[2-3 [	75,75 ± 4,92	
[3-4 [	75,60 ± 5,89	
≥ 4	78,10 ± 9,53	

3.10 CORRÉLATION ENTRE LA HAUTEUR AU GARROT ET LE PÉRIMÈTRE THORACIQUE DES CAPRINS ABATTUS

Le tableau 17 présente le coefficient de corrélation entre la hauteur au garrot et le périmètre thoracique des races caprines abattues.

Tableau 17. *Corrélation entre la hauteur au garrot entre et le périmètre thoracique des races caprines abattues*

Races	Hauteur au garrot	Périmètre thoracique	p-value
	Coefficient de corrélation		
Djallonké	0,05		0,83
Sahélienne	0.87		< 2,2.10 ⁻¹⁶

4 DISCUSSION

Lors de cette étude, au total, 160 caprins ont été utilisés. Il a été observé que la majorité des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët est constituée par des caprins de race Sahélienne (90%). La minorité est ainsi composée de caprins de race Djallonké (10%). Ces résultats sont donc similaires à ceux obtenus par [1] lors de l'étude préliminaire effectuée. Cela confirme le fait que la Côte d'Ivoire s'approvisionne majoritairement en caprins provenant de l'extérieur comme le soutiennent les travaux de [3] et [4]. En effet, ceux-ci ont souligné la dépendance de la Côte d'Ivoire vis-à-vis de pays sahéliens en ce qui concerne l'approvisionnement en bétail vif.

Cette étude a permis de mettre en évidence les proportions de sexes des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët. En outre, la majorité des caprins abattus est composée de ceux de sexe mâle (68,75%) contre 31,25% de sexe femelle. La proportion supérieure de mâles abattus par rapport aux femelles est ainsi similaire aux observations de [5] lors de ses travaux au niveau de l'abattoir d'Ain Defla en Algérie. Par contre, le résultat obtenu diffère de celui de [6] relevé à l'abattoir de Tillabéri au Niger.

Lors de cette étude, huit (8) couleurs de robe ont été observées chez l'ensemble des caprins. Au niveau des caprins de race Djallonké, le brun-noir a été le plus rencontré (43,75%) suivi par le brun-pie (31,25%), le blanc-brun (12,5%), le pie-brun, le pie-noir avec 6,25% de présence chacun. Tandis qu'aucun caprin de race Djallonké blanc, blanc-brun-noir, et noir-pie n'a été observé. La dominance de la couleur de robe brun-noir, l'absence de blanc et de noir-pie au niveau des caprins de race Djallonké est en accord avec les travaux de [1]. Cela suggère également une diversité quant à la couleur de la robe comme relevé par [7] chez les caprins de Lubumbashi en République Démocratique du Congo.

Au niveau des caprins de race Sahélienne abattus, une diversité quant à la couleur de robe a été également observée. En effet, la robe pie-brun est la plus répandue (53,47%) suivie de la robe brun-pie (22,22%), du blanc (9,72%), du pie-noir (6,25%), du blanc-brun (3,47%), du blanc-brun-noir et du noir-pie avec respectivement 2,78% et 2,08%. Ces résultats sont donc conformes à ceux de l'étude préliminaire effectuée par [1] sur les caprins abattus pour la boucherie dans la ville d'Abidjan. La variabilité de la couleur de la robe des caprins de race Sahélienne est ainsi en accord avec les travaux de [8].

Pendant cette étude portant sur les caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan, cinq (5) classes d'âges ont été observées allant de moins d'un an à plus de quatre ans. Ces résultats sont donc en accord avec ceux de [1]. Ainsi, il a été déterminé que les caprins les plus abattus ont plus de quatre ans (89,38%). Suivis par ceux de trois à quatre ans et de moins d'un an (3,12%). Ensuite viennent les caprins de deux à trois ans (2,5%) et enfin ceux d'un à deux ans (1,88%). En effet, comme le soutiennent [1] dans leurs travaux, le fait que la grande majorité des caprins abattus ait plus de quatre ans pourrait s'expliquer par le fait que ce soit des caprins en fin de production ou qui ne sont plus aptes à la reproduction.

Concernant les cornes, les résultats montrent une présence de cornes chez la majorité des caprins de race Djallonké abattus (81,25%). Ce qui corrobore les travaux de [1]. Cependant, au niveau des caprins de race Sahélienne, tous les caprins observés possèdent des cornes. Ces résultats sont donc différents de ceux de [1] qui ont obtenu 97,35% de caprins de race Sahélienne portant des cornes contre 2,65% n'en portant pas. Cependant, la présence de cornes au niveau de chacune des races est en accord avec les travaux de [9] dans lesquels ils soulignent la présence de cornes chez toutes les espèces caprines, mais à des fréquences variables. De plus, [10] rapportent que la présence des cornes est un indice de meilleures performances reproductives comparativement aux boucs sans cornes.

Les résultats montrent une présence de barbiche au niveau des deux races de caprins. En effet, chez les caprins de race Djallonké, seulement 18,75% possèdent une barbiche. La grande majorité (81,25%) n'en possédant pas. Ces résultats sont similaires à ceux de [1]. Par contre, 51,39% des caprins de la race Sahélienne portent une barbiche contre 48,61% qui n'en portent pas. Ces résultats corroborent également ceux de [1], mais sont différents de ceux de [11] qui ont déterminé que 44,2% des caprins de race Sahélienne portaient une barbiche lors de leurs travaux réalisés au Niger.

Pour ce qui relève de la présence ou non de pendeloques, les résultats montrent que celles-ci sont majoritairement absentes chez les caprins de race Djallonké (87,5%) contre 12,5% de présence. Ce résultat est ainsi similaire à celui de [1] qui ont observé que la majorité des caprins de race Djallonké ne portent pas de pendeloques. Ce qui n'est pas le cas chez les caprins de race Sahélienne où elle est présente à 55,56%. Ce qui est également similaire aux résultats de [1] et [11] qui ont obtenu respectivement 56,64% et 52,3% de présence. De plus, [12] rapporte que la présence d'appendices est fréquente chez les caprins de race Sahélienne.

D'une façon générale, la hauteur au garrot des caprins de race Sahélienne (80,24 cm) est supérieure à celle des caprins de race Djallonké qui a été de 56,37 cm. Ces résultats sont donc similaires à ceux de [1]. Des auteurs tels que [13] et [14] rapportent cependant des valeurs inférieures avec respectivement 44,17 et 45,12 cm chez des caprins de race Djallonké au Bénin et au Burkina Faso. De plus, les mâles ont une hauteur au garrot plus grande (80,10 cm) que celle des femelles (72,92 cm). En revanche, l'âge n'a montré aucun effet sur la hauteur au garrot ($p > 0,05$). Ces résultats sont donc conformes à ceux de [1] qui ont également rapporté une absence d'effet de l'âge et sur la hauteur au garrot.

Le périmètre thoracique des caprins de race Sahélienne (77,82 cm) est supérieur à celui des caprins de race Djallonké (66,87 cm). Ces résultats sont similaires à ceux de [1], mais sont différents de ceux de [14] qui ont relevé 57,99 cm sur des caprins de race Djallonké. Aussi, les mâles ont un périmètre thoracique plus élevé (78,44 cm) que celui des femelles (72,96 cm). En revanche, l'âge n'a montré aucun effet sur le périmètre thoracique ($p > 0,05$) comme dans l'étude préliminaire réalisée par [1].

L'étude n'a pas montré de corrélation ($p = 0,83$) entre le périmètre thoracique et la hauteur au garrot des caprins de race Djallonké abattus pour la boucherie dans la ville d'Abidjan. Concernant les caprins de race Sahélienne, les résultats ont montré une forte corrélation significative positive ($p < 2,2 \cdot 10^{-16}$ et $r = 0,87$) entre le périmètre thoracique et la hauteur au garrot. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [1]. Cela suggère donc que plus le caprin de race Sahélienne est haut sur pattes, plus le périmètre thoracique est grand.

5 CONCLUSION

L'étude de caractères phénotypiques et zootechniques chez des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët a permis de consolider les informations au sujet de ces petits ruminants. En effet, les animaux de race Sahélienne sont en définitive majoritairement abattus par rapport aux caprins de race Djallonké. Tous les caprins abattus ont cependant des couleurs de la robe, des âges ainsi que des caractéristiques zootechniques variés. Toutefois, il serait intéressant de mener par la suite des études sur la détermination des paramètres métaboliques de ces caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Messieurs ANOH Bilé Marcel, Mr GBO Arnaud Éric et KOFFI Mian Richard et l'ensemble des équipes d'inspection de l'abattoir de Port-Bouët, pour leur aide lors de la phase de terrain. Les auteurs remercient également Mr Moussa KOMARA (PhD, MSc) pour le financement de cette étude.

REFERENCES

- [1] Y. Akaffou, M. Komara, B. I. V. D. Youan & K. Dagnogo, «Essai préliminaire de caractérisation phénotypique et zootechnique des caprins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan», *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 68, no. 2, pp. 281-289, 2023.
- [2] D. Hamito, Estimation of weight and age of sheep and goats, Technical Bulletin, Ethiopia Sheep and Goat Productivity Improvement Program (ESGPIP), Ethiopie, no. 23, 23p, 2009.
- [3] K. V. Bakayoko, Revue des filières bétail/viande & lait et des politiques qui les influencent en Côte d'Ivoire, FAO - Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 136p, 2016.
- [4] M. Bamba, Filières de production animale en Côte d'Ivoire : Dynamiques et projets de développement. Rapport de stage, École Nationale des Services Vétérinaires, France, 56p, 2019.
- [5] F. Benyoucef, Motifs de saisie au niveau de l'abattoir d'AIN DEFLA. Mémoire de fin d'études, Université Saad Dahlab-Blida 1, Algérie, 64p, 2017.
- [6] H. Abdou, I. K. Adamou & D. Mahamadou, «Motifs de saisie des viandes, prévalence et incidence socio-économique : Cas de l'abattoir de Tillabéri», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 33, no. 1, pp. 65-76, 2021.
- [7] I. A. Ngona, J. M. Beduin, A. B. F. K. Maté and C. Hanzen, «Étude descriptive des caractéristiques morphométriques et génitales de la chèvre de Lubumbashi en République démocratique du Congo». *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, vol. 65, no. 3-4, pp. 75-79, 2012.
- [8] M. A. Chamchadine, Comportement alimentaire et performances laitières des chèvres sahéliennes sur parcours naturel. Thèse de Doctorat Vétérinaire, École Inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar, Sénégal, 102p, 1994.
- [9] A. Traoré, H. H. Tamboura, A. Kaboré, N. Yaméogo, B. Bayala and I. Zaré, «Caractérisation morphologique des petits ruminants (ovins et caprins) de race locale »Mossi« au Burkina Faso». *Animal Genetic Resources Information*, vol. 39, pp. 39-50, 2006.
- [10] R. Kridli, M. Tabbaa, R. Sawalha and M. Amasheh, «Comparative study of scrotal circumference and semen characteristics of Mountain Black goat and its crossbred with Damascus goat as affected by different factors», *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 18-25, 2005.
- [11] M. Mani, H. Marichatou, M. Issa, I. Chaïbou, A. Sow, M. Chaïbou and J. G. Sawadogo, «Caractéristiques phénotypiques de la chèvre du sahel au Niger par analyse des indices de primarité et des paramètres qualitatifs». *Animal Genetic Resources*, vol. 54, pp. 11-19, 2014.
- [12] F. M. Mbaïndingatloum, Essai d'un protocole d'insémination artificielle chez les chèvres sahéliennes en milieu réel : Résultats préliminaires. Mémoire de DEA, École Inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar, Sénégal, 41p, 2003.
- [13] O. G. Kouato, V. P. Houndonougbo, B. Orounladji, M. A. Chabi Adjobo, R. Glele Kakaï and C. A. A. Chrysostome, «Comparative analysis of quantitative phenotypic parameters of Djallonke and hybrid (Djallonke × Sahelian) goats in Benin», *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 47, no. 2, pp. 8472-8483, 2021.
- [14] B. Akounda, D. Ouédraogo, A. Soudré, P. A. Burger, B. D. Rosen, C. P. Van Tassell and J. Sölkner, «Morphometric Characterization of Local Goat Breeds in Two Agroecological Zones of Burkina Faso, West Africa», *Animals*, vol. 13, no. 12, pp. 1931, 2023.

Effets de l'engrais organique «*Bokashi*» sur la productivité des cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) à Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

[Effects of organic fertilizer «*Bokashi*» on the productivity of cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) in Daloa (central-west of Côte d'Ivoire)]

Konan Jeanne Armelle Manhounou, Konate Zoumana, Kouadio Koffi Hypolith, Fofana Inza, and Bakayoko Sidiky

Département d'Agropédologie, Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie,
Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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: Most cocoa growing soils currently have a low level of chemical fertility. This does not make it possible to optimize the development of cocoa trees and ensure sustainable cocoa production. The objective of this study was to improve the fertility of soils under cocoa trees and cocoa production in Côte d'Ivoire. The study was conducted using a completely randomized Fisher block design, with three repetitions over two years. The organic fertilizer «*Bokashi*» was applied in a crown around the cocoa trees at doses of 0, 2, 4 and 6 kg per year, corresponding respectively to treatments T0 (control), T1, T2 and T3. Soil samples were taken before and after the addition of *Bokashi* to assess the initial and final fertility of the soil. The average numbers of wilted cherelles, healthy pods, rotten pods, weight of fresh beans and actual and potential yields of cocoa trees fertilized with *Bokashi* were evaluated and compared to those of the control treatment. The collected data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS 9.4 software. The results showed that the addition of *Bokashi* improves soil fertility and the productivity of cocoa trees. The application of *Bokashi* also made it possible to reduce the levels of certain elements in the soil such as aluminum, which in very high quantities can be toxic for most plants. The highest actual (1351.05 kg/ha) and potential (1846.8 kg/ha) yields having been obtained with the dose of 2 kg of *Bokashi* per year and per cocoa tree therefore constitute the optimal dose allowing improve the chemical fertility of the soil and the productivity of cocoa trees.

KEYWORDS: *Bokashi*, cocoa tree (*Theobroma cacao*), fertility, soils under cocoa trees.

RESUME: Les sols de cacaoculture sont actuellement pour la plupart dotés d'un faible niveau de fertilité chimique. Ce qui ne permet pas d'optimiser le développement des cacaoyers et d'assurer durablement la production de cacao. L'objectif de cette étude était d'améliorer la fertilité des sols sous cacaoyers et la production du cacao en Côte d'Ivoire. L'étude a été menée selon un dispositif en blocs de Fisher complètement randomisés, avec trois répétitions durant deux ans. Le fertilisant organique « *Bokashi* » a été appliqué en couronne autour des cacaoyers aux doses de 0, 2, 4 et 6 kg par an, correspondant respectivement aux traitements T0 (témoin), T1, T2 et T3. Des échantillons de sols ont été prélevés avant et après l'apport du *Bokashi* pour évaluer la fertilité initiale et finale du sol. Les nombres moyens de chérelles wiltées, de cabosses saines, cabosses pourries, poids des fèves fraîches et rendements réel et potentiel des cacaoyers fertilisés avec le *Bokashi* ont été évalués et comparés à ceux du traitement témoin. Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS 9.4. Les résultats ont montré que l'apport du *Bokashi* améliore la fertilité des sols et la productivité des cacaoyers. L'application du *Bokashi* a permis aussi de réduire dans le sol, les teneurs en certains éléments tel l'aluminium, qui en quantité très élevée peut être toxique pour la plupart des plantes. Les rendements réel (1351,05 kg/ha) et potentiel (1846,8 kg/ha) les plus élevés ayant été obtenus avec la dose de 2 kg de *Bokashi* par an et par cacaoyer constituent de ce fait, la dose optimale permettant d'améliorer la fertilité chimique du sol et la productivité des cacaoyers.

MOTS-CLEFS: *Bokashi*, cacaoyer (*Theobroma cacao*), fertilité, sols sous cacaoyers.

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire, depuis son indépendance, a fondé son essor économique sur le développement de l'agriculture. Les actions entreprises dans ce secteur, en particulier dans le domaine des cultures industrielles, a permis d'avoir un taux de croissance soutenu [1]. C'est ainsi que depuis plus de quatre décennies, la Côte d'Ivoire occupe le rang de premier producteur mondial de fèves de cacao et assure plus de 40% de

l'offre mondiale [1]. Le secteur du cacao constitue l'un des principaux moteurs du développement économique et social de la Côte d'Ivoire. En effet, la cacaoculture occupe une population agricole de plus d'un million de planteurs et environ trois millions de personnes vivent des revenus du cacao [2]. En outre, elle procure de nombreux emplois dans les secteurs secondaire et tertiaire [1] et représente environ 40% des recettes d'exportation et contribuant à plus de 15% du PIB (Produit Intérieur Brut) [3]. Cependant, les plantations existantes qui ont été à la base des performances de la cacaoculture ivoirienne sont sénescences [4]. Cette sénescence est accentuée par la baisse de la fertilité des sols [3], l'évolution défavorable du climat auxquels s'ajoute la maladie du Swollen shoot du cacaoyer [5], occasionnant des faibles rendements moyens annuels compris entre 260 et 560 kg/ha [6]. Dans ce contexte, la production ivoirienne de cacao pourrait baisser dans les années à venir.

Pour améliorer la fertilité des sols et maintenir la production ivoirienne de cacao, les engrais chimiques ont été proposés comme une des solutions parmi tant d'autres. Cependant, leurs coûts élevés les rendent presque inaccessibles aux petits producteurs. De plus, leur utilisation continue et excessive pollue l'environnement. Dans ce contexte, l'utilisation des fertilisants organiques tels que le *Bokashi* constituerait un bon substitut aux engrais chimiques, permettant d'améliorer la productivité des cacaoyers. La présente étude a donc été menée en vue d'aider les producteurs à améliorer la production du cacao en Côte d'Ivoire.

2 CARACTERISTIQUES DE LA ZONE ET DU SITE D'ETUDE

L'étude a été réalisée à Kouadiokro, un village du département de Daloa (Figure 1), chef-lieu de la région du Haut-Sassandra. Daloa est située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°30' et 8° de latitude Nord et entre 5° et 8° de longitude Ouest [7]. La région de Daloa est caractérisée par deux saisons sèches et humides alternant avec des températures variant de 24,65 à 27,75 °C en moyenne [8]. Le mois de juin représente le pic de la grande saison pluvieuse et celui de septembre le pic de la petite saison des pluies. Le paysage forestier de la région de Daloa varie progressivement de la forêt dense humide semi-décidue à une forêt défrichée mésophile. L'exploitation non contrôlée des essences forestières ont notamment fait reculer les limites de cette forêt [9].

Les sols sont en général ferralitiques moyennement lessivés (ou désaturés) et présentant de bonnes aptitudes agricoles pour tous les types de culture [10].

Le réseau hydrographique de la région est dense et dominé par le fleuve Sassandra avec de grandes plaines alluviales propices aux cultures légumières. Le relief y est peu contrasté et peu varié et dominé par des plateaux de 200 à 400 m d'altitude.

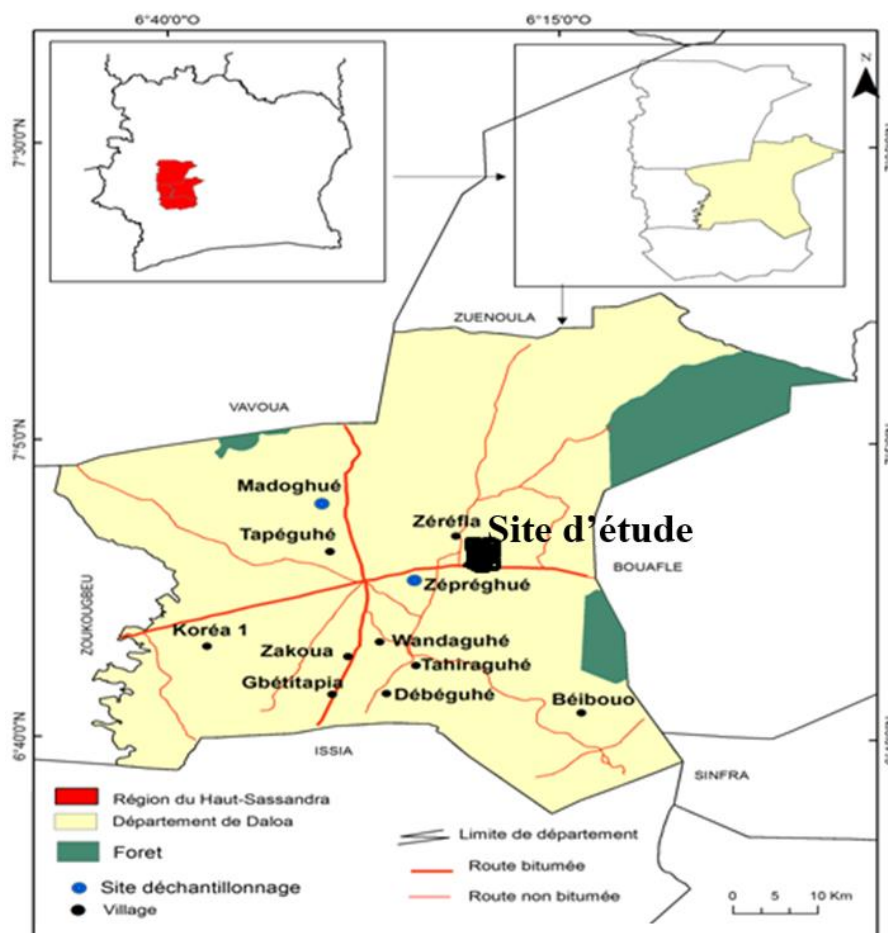


Fig. 1. Carte de localisation de la zone et du site de l'étude

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 MATERIEL

3.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de cacaoyers adultes en phase de production issus de matériel végétal tout venant.

3.1.2 MATÉRIEL FERTILISANT

Le matériel fertilisant utilisé est constitué par l'engrais organique '*Bokashi*' fabriqué par la structure « BIOSAVE-CI » et commercialisé sous le nom « MOAYE » sous forme d'engrais organique solide (Figure 2). Le *Bokashi* est un engrais organique obtenu par la dégradation aérobie ou anaérobie de matériaux d'origine végétale et/ou animale avec un inoculant microbien ayant un degré d'humification élevé.



Fig. 2. Fertilisants utilisés pour l'étude

3.1.3 MATÉRIEL ÉDAPHIQUE

Le matériel édaphique est constitué par les échantillons de sol prélevés sous les cacaoyers adultes en phase de production (10 à 15 ans) dans les 40 premiers centimètres du sol. Ces échantillons ont servi à déterminer les propriétés physico-chimiques de ces sols.

3.1.4 MATÉRIEL TECHNIQUE

Pour les travaux sur le terrain, un certain nombre de matériel technique a été utilisé, à savoir:

- Un code Munsell, pour la détermination des couleurs des horizons;
- Un tamis de maille 2 mm pour le tamisage des échantillons;
- Des scies, pour couper les gourmands et les branches mortes;
- Des sécateurs, pour éliminer les plantes parasites (*Ioranthus*);
- Des pioches et des pelles, pour l'ouverture des fosses;
- Une balance Roberval, pour peser les doses de fertilisants;
- Un mètre ruban pour la mesure des épaisseurs des horizons;
- Un couteau, pour la délimitation des horizons.

3.2 METHODES

3.2.1 CHOIX DES PARCELLES ET DES CACAOYERS

Les parcelles de cacaoyers ont été choisies sur la base des travaux antérieurs des producteurs. Les parcelles ayant atteint leur plateau de production (entre 10 et 15 ans de production) et qui n'ont pas été fertilisées et traitées avec des herbicides durant les trois dernières années de productions ont été retenues pour l'étude. Seuls les cacaoyers en bonne santé ont été choisis et fertilisés, c'est-à-dire ceux portant des fleurs et des chérelles. Cependant, tous les cacaoyers qui présentaient des attaques sévères de foreurs de tiges n'ont pas été retenus pour l'étude.

3.2.2 ENTRETIENS DES CACAOYERS

L'entretien des parcelles a consisté à la taille d'entretien, la récolte sanitaire des cacaoyers avant l'application des fertilisants et les traitements phytosanitaires.

La taille d'entretien a consisté à éliminer des cacaoyers les gourmands, les branches desséchées qui constituent des nids d'insectes et à supprimer les plantes parasites (*Loranthus*) (Figure 3). La récolte sanitaire a consisté à débarrasser les cacaoyers de toutes les cabosses desséchées ou pourries qui constituent des sources de propagation des maladies.

Les traitements phytosanitaires effectués consistaient à lutter contre les insectes et les maladies afin d'obtenir des résultats satisfaisants.



A : Elimination des branches desséchées



B : *Loranthus* éliminé du cacaoyer

Fig. 3. Opérations d'entretiens des cacaoyers

3.2.3 DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DES SOLS

La description morphologique des sols a consisté à l'ouverture de 3 fosses (1 m x 1 m x 1,2 m) à raison d'une (1) fosse par bloc en vue d'apprécier le niveau de fertilité physique des sols sous cacaoyers. La profondeur des fosses plafonnée à 120 cm variait en fonction du niveau de rencontre de contraintes infranchissables. Cette description morphologique des sols a été faite selon la méthode de [11] à partir d'observations macroscopiques dans les fosses pédologiques. Les horizons ont été décrits selon les caractères morphologiques du sol suivants: profondeur, couleur, texture, structure, présence d'éléments grossiers, porosité, humidité, compacité, présence de racines, matière organique, limite et transition entre les horizons et le drainage interne.

3.2.4 ECHANTILLONNAGE DES SOLS AVANT L'APPORT DU BOKASHI

Les prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués à l'aide de tarière dans l'horizon 0-40 cm de sols dans les cacaoyères choisies avant l'application des fertilisants pour évaluer la fertilité chimique initiale des sols. Pour ce faire, 5 carottes de terre ont été prélevées à des points choisis au hasard puis mélangés en vue de constituer un seul échantillon composite par bloc. Les échantillons composites de sols d'environ 500 grammes chacun ainsi prélevés, ont été séchés à l'air ambiant, puis tamisés à l'aide de tamis à mailles de 2 mm de diamètre et conservés dans des sachets en plastiques puis étiquetés.

3.2.5 TRAITEMENTS APPLIQUÉS

Les traitements appliqués étaient composés d'un traitement témoin T0 (sans apport de Bokashi) et de 3 doses de *Bokashi* représentées par les traitements T1, T2, T3. L'essai comportait au total 4 traitements, à savoir:

- T0 (témoin): sans apport de *Bokashi*;
- T1: 2 kg de *Bokashi*/cacaoyer (1 kg/cacaoyer en Mars-Avril et 1 kg/cacaoyer en Août-Septembre);
- T2: 4 kg de *Bokashi*/cacaoyer (2 kg/cacaoyer en Mars-Avril et 2 kg/cacaoyer en Août-Septembre);
- T3: 6 kg de *Bokashi*/cacaoyer (3 kg/cacaoyer en Mars-Avril et 3 kg/cacaoyer en Août-Septembre).

3.2.6 MODES D'APPLICATION DES FERTILISANTS

Les doses de *Bokashi* ont été apportées en surface aux pieds des cacaoyers en couronne à 60 cm de diamètre autour des plants (Figure 4), pendant la saison des pluies en deux apports par an (Mars-Avril et Septembre-Octobre). Avant l'épandage du *Bokashi*, les feuilles mortes de

cacaoyers ont été dégagées du pied du cacaoyer pour permettre que les fertilisants soient en contact avec le sol. Après, l'épandage, les fertilisants ont été refermées légèrement avec les feuilles mortes pour réduire les impacts des gouttes de pluie sur les fertilisants.

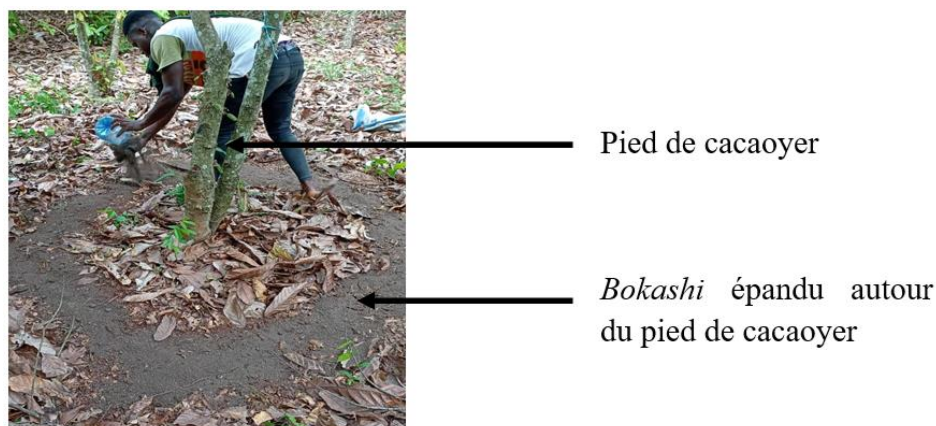


Fig. 4. *Epandage du Bokashi en couronne autour du pied de cacaoyer*

3.2.7 MARQUAGE ET ÉTIQUETAGE DES CACAOYERS DE LA PARCELLE UTILE

Le marquage et l'étiquetage ont consisté à choisir au sein de chaque traitement ou parcelle élémentaire, 20 cacaoyers, à les marquer avec de la peinture et à leur attribuer des numéros (numéros du bloc et du cacaoyer) pour une meilleure reconnaissance au cours des relevés. Les étiquettes ont été confectionnées en fer et accrochées à l'aide d'un fil en fer sur les 20 cacaoyers retenus au niveau de la parcelle utile. Une fois que les informations écrites sur les étiquettes commençaient à s'effacer, elles étaient automatiquement renforcées en les réécrivant de nouveau.

3.2.8 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai a été conduit durant deux années dans une cacaoyère en milieu paysan sur une superficie d'un hectare et demi (5000 m²) selon un dispositif expérimental en blocs de Fisher. Les traitements ont été répétés 3 fois et repartis de manière aléatoire dans les blocs disposés parallèlement les uns des autres suivant la toposéquence. Chaque bloc était constitué de 4 traitements ou parcelles élémentaires. Au total, l'essai comprenait 12 parcelles élémentaires ou traitements (Figure 5).

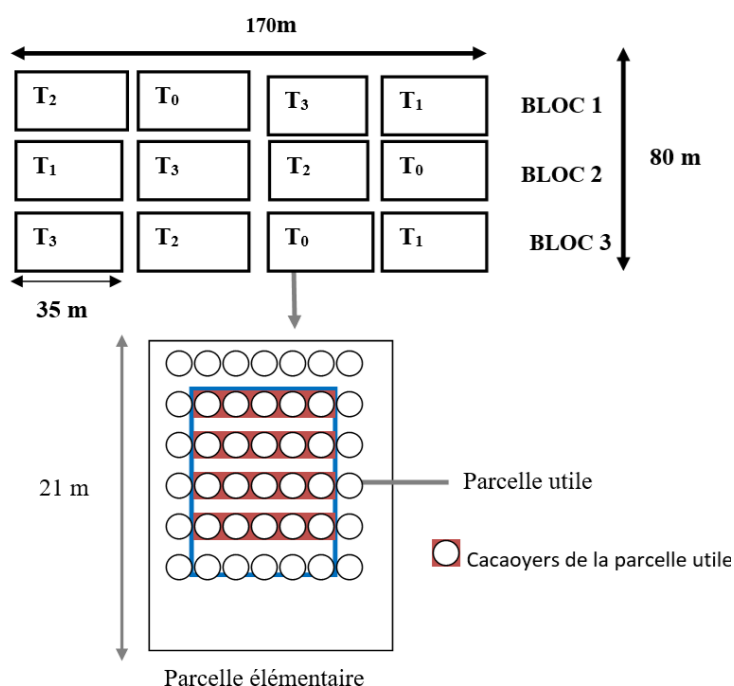


Fig. 5. *Dispositif expérimental et disposition des traitements*

3.2.9 COLLECTE ET ÉVALUATION DES PARAMÈTRES AGRONOMIQUES DES CACAOYERS

Sur l'ensemble des 12 parcelles élémentaires, les mesures ont été effectuées sur 20 plants de cacaoyers pris au centre de la parcelle élémentaire en laissant les plants de bordure en vue d'éviter les effets de bordure. Ces mesures ont débuté au troisième mois et ont concerné par traitement:

3.2.9.1 NOMBRES MOYENS DE CHÉRELLES SAINES ET DE CHÉRELLES WILTÉS

Les nombres moyens de chérelles saines et de chérelles wiltés ont été déterminés par un comptage régulier de chérelles saines et de chérelles wiltés sur tous les cacaoyers de la parcelle utile de chaque traitement à intervalles réguliers d'un mois. Les chérelles sont l'ensemble des fruits dont la taille est supérieure à 10 millimètres et les chérelles wiltées étant l'ensemble des chérelles, n'ayant pas atteint la maturité physiologique et qui ont flétri ou qui présentent des signes de flétrissement (jaunissement ou recroquevillement). Après chaque comptage, les cacaoyers ont été débarrassés de toutes les chérelles wiltés.

3.2.9.2 NOMBRE MOYEN DE CABOSSES SAINES ET DE CABOSSES POURRIES

Les nombres moyens de cabosses saines et de cabosses pourries ont été déterminés par le comptage régulier à intervalle d'un mois du nombre total de cabosses saines et de cabosses pourries sur chaque cacaoyer de la parcelle utile. Les cabosses saines étaient les fruits mûrs qui ne présentaient ni symptômes de pathologie ou qui n'ont pas été rongés. Les cabosses pourries sont des cabosses présentant des symptômes de pourritures brune ou noire. Après chaque comptage, les cacaoyers sont également débarrassés de toutes les cabosses pourries;

3.2.9.3 POIDS MOYEN DES 100 FÈVES FRAÎCHES DE CACAO

Le poids moyen des 100 fèves fraîches de cacao a consisté à mélanger les fèves de 3 cabosses récoltées par parcelle utile par mois et à compter 100 fèves et les peser pour en déterminer les poids.

3.2.9.4 RENDEMENTS RÉEL ET POTENTIEL DES CACAOYERS

Cent huit (108) cabosses ont été prélevées de manière aléatoire dans les 12 parcelles élémentaires, à raison de trois cabosses par traitement ou parcelle élémentaire. Ces cabosses ont été pesées puis cassées. Les fèves fraîches ont été comptées et pesées après avoir éliminé les fèves plates.

Un coefficient de transformation a été appliqué sur le poids frais des fèves afin d'avoir la valeur du poids sec. L'estimation des rendements potentiel et réel en cacao marchand (en kg) après l'apport des fertilisants a été faite suivant les équations suivantes [12]:

$$Rd_{réel} = (PMF * 0,35 * n_{Cabsain} * 1333 * 0,001) \quad (1)$$

$$Rd_{potentiel} = (PMF * 0,35 * n_{Cabtotal} * 1333 * 0,001) \quad (2)$$

Rd_{réel} = Rendement;

Rd_{potentiel} = Rendement potentiel;

PMF = Poids moyen de fèves fraîches par cabosse;

0,35 = Coefficient de transformation de poids de fèves fraîches en poids sec de cacao marchand;

n_{Cabsain} = Nombre de cabosses saines;

1333 = Nombre de pieds de cacao à l'hectare;

0,001 = Conversion d'un gramme en kilogramme.

3.2.10 COLLECTE ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS DE SOLS À LA FIN DE L'ESSAI

Pour déterminer la fertilité finale des sols sous cacaoyers après l'apport des fertilisants en fin d'essai, les feuilles mortes de cacaoyers qui servaient à couvrir les fertilisants au pied des cacaoyers ont été dégagées légèrement et des échantillons ont également été pris dans la partie où les fertilisants avaient été appliqués dans l'horizon 0-40 cm de profondeur. Les échantillons prélevés sous des cacaoyers choisis au hasard ont été également mélangés en vue de constituer un seul échantillon composite par traitement. Les échantillons composites de sols d'environ 500 grammes ont été séchés à l'air ambiant, puis tamisés à l'aide de tamis à mailles de 2 mm de diamètre et conservés dans des sachets en plastiques puis étiquetés.

3.2.11 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE DES ÉCHANTILLONS DE SOLS AU LABORATOIRE

Les échantillons composites de sols prélevés au début et à la fin de l'essai après l'apport des fertilisants ont été analysés au laboratoire d'analyse des végétaux et des sols (LAVESO) de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de Yamoussoukro. L'analyse physique ou mécanique a porté sur la granulométrie, déterminée par la méthode de tamisage pour les éléments grossiers et par densimétrie à la pipette de Robinson pour les éléments fins. En ce qui concerne l'analyse chimique:

- Le carbone organique (C) du sol a été déterminé par titrimétrie (méthode Walkley-Black) après oxydation à l'aide d'un mélange d'acide sulfurique (H₂SO₄) et de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇);
- L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldhal basée sur l'oxydation par voie humide;
- La teneur en phosphore total a été évaluée par colorimétrie après réaction à l'acide phosphorique en présence du molybdate d'ammonium et d'acide ascorbique;
- Le phosphore assimilable (méthode Olsen-Dabin) a été extrait à l'aide du bicarbonate de sodium (NaHCO₃) au pH 8,5;
- Les bases échangeables (K, Ca, et Mg) ont été déterminées à l'aide de l'acétate d'ammonium;
- La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par la méthode de saturation au NH₄⁺ et le potassium à l'aide de photomètre à flamme;
- Le calcium et le magnésium ont été dosés par spectrophotomètre à flamme d'absorption atomique;
- Le pH (eau) a été déterminé à l'aide du pH-mètre après addition de 50ml d'eau ionisée à 20g de sol, suivi d'agitation et de décantation pendant 30 minutes.

3.2.12 TRAITEMENTS STATISTIQUES DES DONNÉES

L'analyse des données a été faite à l'aide de méthodes de statistique descriptive et d'analyses de variances. Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS 9.4. Les moyennes ont été séparées au moyen du test de Newman et Keuls au seuil de probabilité de 5%.

4 RESULTATS

4.1 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL AVANT L'APPORT DE *BOKASHI*

Les propriétés physico-chimiques du sol servant de substrat de culture en pépinière déterminées au laboratoire ont été comparées aux valeurs normatives de référence telles qu'indiquées dans le tableau I ci-dessous. Il est ressorti de l'analyse du sol que le pH est faible (pH = 5,3 < 6,6 - 7,3) avec un rapport C/N élevé (C/N = 14,63 > 9-12). Les teneurs en azote, carbone et le taux de matière organique du sol sont également très faibles par rapport aux valeurs normatives de référence (MO = 2,12% < 9,6-68,8%; C = 1,17% < 5,6-10%; N = 0,08 % < 0,3-0,6%). Les teneurs en phosphore assimilable (Pass. = 30,5 ppm < 50-100 ppm) ainsi que la capacité d'échange cationique (CEC = 7,69 cmol.kg⁻¹ < 10 cmol.kg⁻¹) sont très faibles par rapport aux valeurs normatives de référence.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques des sols sous cacaoyer

Paramètres	Teneurs initiales du substrat sol	*Valeurs normatives
pHeau	5,3	6,6 - 7,3
MO (%)	2,12	9,6-68,8
C (%)	1,17	5,6-10
N (%)	0,08	0,3-0,6
C/N	14,63	9-12
Pass (ppm)	30,5	50-100
CEC (cmol.kg ⁻¹)	8,31	10-15

*Valeurs normatives de références [13].

4.2 EFFET DES DOSES DE *BOKASHI* SUR L'ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION DU CACAoyer

4.2.1 ÉVOLUTION DES CHÉRELLES WILTÉES

L'analyse des variances a montré que l'apport des doses du *Bokashi* a entraîné une différence hautement significative ($P = 0,0052$) sur l'évolution du nombre moyen de chérelles wiltées par cacaoyer (Tableau II). Les traitements à base de *Bokashi* ont obtenu les nombres de chérelles wiltées les plus élevés par rapport au traitement témoin T0. Les nombres de chérelles wiltées les plus élevés sont obtenus par les

traitements T2 (30,66 chérelles wiltées) et T3 (32,83 chérelles wiltées). Le plus faible nombre de chérelles wiltées a été observé au niveau du traitement témoin T0. Le traitement T1 (25,46 chérelles wiltées) a obtenu le nombre intermédiaire de chérelles wiltées.

4.2.2 EVOLUTION DU NOMBRE MOYEN DE CABOSSES PAR CACAoyer

L'apport des doses du *Bokashi* a eu un effet significatif ($P = 0,0025$) sur l'évolution du nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Tableau II). Les traitements T2 (19,96 cabosses) et T3 (18,8 cabosses) ont obtenu les nombres moyens de cabosses par cacaoyer les plus élevés. Les plus faibles nombres étant obtenus par les traitements T0 (14,36) et T1 (14,36).

4.2.3 EVOLUTION DU NOMBRE MOYEN DE CABOSSES SAINES ET DE CABOSSES POURRIES PAR CACAoyer

L'analyse des variances a montré que l'apport des doses du *Bokashi* a entraîné une différence hautement significative sur l'évolution du nombre moyen de cabosses saines ($P = 0,0045$) et de cabosses pourries ($P = 0,006$) par cacaoyer (Tableau II). Le nombre de cabosses saines par cacaoyer le plus élevé a été obtenu par le traitement T2 (14,50 cabosses saines par cacaoyer) et les plus faibles ont été observés au niveau des autres traitements (T3, T1 et T0). Par contre, au niveau des nombres moyens de cabosses pourries par cacaoyer, c'est le traitement T2 (1,63 cabosses pourries) qui a obtenu le faible nombre moyen de cabosses pourries par cacaoyers. Les plus grands nombres moyens ont été obtenus par traitements T0 (5,86) et T1 (5,56) et le nombre intermédiaire, par le traitement T3 (3,56).

Tableau 2. Evolution du nombre moyen de chérelles wiltées, de cabosses, de cabosses saines et de cabosses pourries par cacaoyer en fonction des doses de *Bokashi*

Traitements	Paramètres de production du cacaoyer			
	Chérelles wiltées	Nombre de cabosses	Nombre de cabosses saines	Nombre de cabosses pourries
T0 (0 kg de <i>Bokashi</i>)	21,4 b $\pm$ 3,64	14,36 b $\pm$ 2,82	12,73 ab $\pm$ 2,53	5,86 b $\pm$ 0,40
T1 (2 kg de <i>Bokashi</i>)	25,46 ab $\pm$ 4,73	14,36 b $\pm$ 1,59	10,66 b $\pm$ 1,28	5,56 b $\pm$ 0,74
T2 (4 kg de <i>Bokashi</i>)	30,66 a $\pm$ 5,06	19,96 a $\pm$ 2,32	14,50 a $\pm$ 1,83	1,63 a $\pm$ 1,25
T3 (6 kg de <i>Bokashi</i>)	32,83 a $\pm$ 9,64	18,8 a $\pm$ 2,27	12,93 ab $\pm$ 1,53	3,56 ab $\pm$ 1,22
Coefficient de variation	42,6	33,66	35	27,38
Probabilités (P)	0,0052	0,0025	0,0045	0,006

4.2.4 EVOLUTION DU POIDS MOYEN DES FÈVES FRAÎCHES PAR CABOSSE

L'apport des doses du *Bokashi* a eu un effet significatif ($P = 0,0012$) sur l'évolution du poids moyen de fèves fraîches par cabosse (Tableau III). Les poids moyens de fèves fraîches par cabosse obtenus avec le *Bokashi* ont été plus élevés que ceux du traitement T0 (sans apport de *Bokashi*). Le poids moyen le plus élevé a été observé au niveau du traitement T2 (197,99 g) et le plus faible poids moyen étant obtenu par le traitement T0 (148,59 g). Les traitements T1 (173,29 g de fèves fraîches par cabosse) et T3 (160,26 g de fèves fraîches par cabosse) ont obtenus les poids moyens intermédiaires.

4.2.5 EVOLUTION DES RENDEMENTS RÉEL ET POTENTIEL

L'apport des doses du *Bokashi* a eu un effet significatif sur l'évolution du rendement moyen réel ($P = 0,0035$) et le rendement moyen potentiel ($P = 0,0014$) des cacaoyers (Tableau III). Quels que soient les rendements moyens (réel ou potentiel), c'est le traitement T2 qui a obtenu les rendements les plus élevés. Les rendements obtenus par les traitements ayant reçu le *Bokashi* sont plus élevés que celui du traitement T0. Cependant, c'est le traitement T2 qui a obtenu les rendements les plus élevés. En effet, le rendement réel moyen était de 1351,05 kg/ha et le rendement potentiel de 1846,8 kg/ha pour le traitement T2. Les rendements intermédiaires sont obtenus par les traitements T1 et T3.

Tableau 3. Evolution du poids des fèves fraîches, rendement réel moyen et rendement moyen potentiel en fonction des doses de *Bokashi*

Traitements	Paramètres de production du cacaoyer		
	Poids des fèves fraîches par cabosse (g)	Rendement réel moyen (kg/ha)	Rendement potentiel moyen (kg/ha)
T0 (0 kg de <i>Bokashi</i>)	148,59 c $\pm$ 9,74	856,02 b $\pm$ 199,31	987,7 b $\pm$ 218,91
T1 (2 kg de <i>Bokashi</i>)	173,29 ab $\pm$ 2,15	880 ab $\pm$ 101,92	1160,4 ab $\pm$ 130,86
T2 (4 kg de <i>Bokashi</i>)	197,99 a $\pm$ 3,35	1351,05 a $\pm$ 177,04	1846,8 a $\pm$ 218,43
T3 (6 kg de <i>Bokashi</i>)	160,26 b $\pm$ 3,85	938,07 ab $\pm$ 123,81	1430,2 ab $\pm$ 182,74
Coefficient de variation	18,05	38,34	36,03
Probabilités (P)	0,0012	0,0035	0,0014

5 DISCUSSION

La faible évolution des paramètres de production des cacaoyers au niveau du traitement T0 (sans apport de *Bokashi*) pourrait s'expliquer par l'état actuel des sols sous cacaoyers caractérisés en général, par une baisse accrue de leur fertilité et une forte acidité [14]. Ce qui réduit fortement la productivité des plantations et leur rendement [15]. C'est pour cette raison que [16] a affirmé que la relance de la filière cacao nécessite de se pencher sur la fertilité chimique des sols.

Les nombres élevés de chérelles wiltées avec les traitements à base de *Bokashi* contrairement au traitement témoin T0 seraient liées à l'enrichissement du sol par l'apport du *Bokashi* en éléments nutritifs nécessaires à la croissance et à la production des cacaoyers. Ces nombres élevés de chérelles wiltées confirme une forte aptitude à la production des cacaoyers ayant reçu des apports de *Bokashi*. En effet, selon [12], les chérelles wiltées interviennent comme facteur de régulation pour des arbres très chargés en fruits. C'est ce qui justifie le taux élevé de chérelles wiltées avec les traitements à fortes doses de *Bokashi*.

Les augmentations des paramètres de production des cacaoyers obtenues sur les sols fertilisés seraient liées à la composition du *Bokashi* qui est constitué en partie par les résidus d'écabossage de cacao riches en phosphore et en potassium, éléments indispensables au développement des cacaoyers. En effet, selon [12], le phosphore et le potassium sont reconnus comme des éléments majeurs contribuant à la prolifération des fleurs, à l'amélioration de la quantité et de la qualité des fruits. Selon [17], le phosphore contribue à l'accroissement de l'intensité de floraison de cacaoyers et le potassium, au développement des chérelles. Aussi, ces valeurs élevées s'expliqueraient-elles par l'apport au sol du *Bokashi* qui, déjà enrichi aux microorganismes, va créer une bonne porosité et une meilleure aération du sol [18]. Ce qui permettrait donc une meilleure nutrition minérale et par conséquent, une bonne production des cacaoyers ayant reçu du *Bokashi* [19]. Cela se confirme par le nombre moyen de cabosses saines produites par cacaoyer et des rendements importants des sols fertilisés avec le *Bokashi*. Selon [20], les cabosses saines constituent un facteur important dans la détermination du rendement.

Cependant, les meilleurs paramètres étant obtenus par le traitement T2 pourraient s'expliquer par le fait que les éléments minéraux apportés par la dose de 2 kg de *Bokashi* par cacaoyer et par plant ont été suffisants pour assurer les besoins nutritionnels essentiels des plants permettant une bonne production du cacaoyer. Cette dose serait donc suffisante pour créer des meilleures conditions d'habitat pour la faune du sol [21] pour décomposer et minéraliser les matières organiques contenues dans le *Bokashi* en vue d'enrichir le sol.

Par contre, les faibles évolutions des paramètres de production avec le traitement à forte dose de *Bokashi*, seraient liées à un effet dépressif de cette dose qui constituerait un facteur limitant pour la production du cacaoyer. C'est pour cette raison que [22], préconise que la fertilisation doit être mesurée et limitée pour éviter l'excès d'éléments nutritifs, qui pourrait finalement être inutilisables et devenir toxiques pour les plants de cacaoyers. C'est qui a amené [12] a affirmé que la durabilité de la production cacaoyère en Côte d'Ivoire doit passer par une fertilisation raisonnée.

6 CONCLUSION

L'étude menée a permis de déterminer la dose optimale de *Bokashi*, susceptible d'améliorer la fertilité des sols et la production des cacaoyers. Les résultats obtenus ont révélé que le *Bokashi* contient des éléments nutritifs pouvant améliorer la fertilité des sols et la production des cacaoyers. Les résultats ont également montré que l'apport de *Bokashi* aux cacaoyers a permis de réduire dans le sol les teneurs en certains oligo-éléments tel l'aluminium, qui en quantité très élevée peut être toxique pour la plupart des plantes. Le traitement T2 avec la dose de 2 kg de *Bokashi* par an et par cacaoyer a permis d'obtenir les rendements réel et potentiel les plus élevés respectifs de 1351,05 kg et 1846,8 kg à l'hectare.

La dose de 2 kg de *Bokashi* par cacaoyer est la dose optimale qui permet d'améliorer la fertilité chimique du sol et la productivité des cacaoyers.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient BIOSAVE-CI, la structure de fabrique du *Bokashi* pour son appui financier à la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] ICCO. What are the effects of intensive commercial production of cocoa on the environment? Westgate House W5 1YY, United Kingdom. Rapport Annuel ICCO, 2015.
- [2] Deheuvels O., Assiri A.A., Pétithuguenin P., Kébé B.I. & Flori A. Production cacaoyère en Côte d'Ivoire: Etat actuel du verger et pratiques paysannes. In Actes de la 14^{ème} conférence internationale sur la recherche cacaoyère (Accra, Ghana, 18-23 octobre 2003), 2, pp. 1157-1166, 2003.
- [3] Assiri A.A, Konan A., N'Guessan K.F., Kébé B.I., Kassin K.E., Couloud J.Y., Yapo A.R., Yoro G.R. & Yao-Kouamé A. Comparaison de deux techniques de replantation cacaoyère sur antécédents culturels non-forestiers en Côte d'Ivoire. *African Crop Science Journal*, 23 (4), pp. 365 – 378, 2015.
- [4] Konaté Z. Etude comparative des pratiques paysannes de plantation ou de replantation cacaoyère en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA. UFR STRM, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 2008.
- [5] Koffié K., Kebe B.I., Kouassi N., Anno A.P., Ake S. & Muller E. Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 43, pp. 2947 – 2957, 2012.
- [6] Assiri A. Identification des pratiques paysannes dans la conduite des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, option agro-pédologie, Université de Cocody-Abidjan, 2007.
- [7] Diarra A., Guy C.D. & Sékongo L.G. Crise de l'eau potable en milieu urbain: cas de la ville de Daloa. *Revue de Géographie de l'Université de Ouaga I*, Pr Joseph KI-ZERBO, 5 (2), pp. 132-151, 2016.
- [8] N'guessan A.H., N'Guessan K.F., Kouassi K.P., Kouamé N.N. & N'Guessan P.W. Dynamique des populations du foreur de tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon*. Felder (Lépidoptère: Cossidae) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences*, 83, pp. 7606-7614, 2014.
- [9] Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C. État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport national, Ministère de l'agriculture, République de Côte d'Ivoire, 2009.
- [10] Zro B.G.F., Guéi A.M., Nangah K.Y., Soro D. & Bakayoko S. Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte d'Ivoire). *African Journal of Soil Science*, Vol. 4 (4), pp. 328-338, 2016.
- [11] Anderson J.M. & Ingram J.S.I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2nd edition. Wallingford- CAB International, 1993.
- [12] Kotaix A.J.A., Kouadio K.H., Angu K.T.P., Kassin K.E., Gbeuli T.A., Assi M.E., Kouamé N.N., Coulibaly K., Koko L.A. & Bakayoko S. Les engrais minéraux issus du diagnostic sol améliorent la fertilité chimique et la production cacaoyère à l'Est de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol.47 (1), pp. 8387-8399, 2021.
- [13] Duval J. & weill A. Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique diversifiée. Equiterre, Montréal, Québec, 2011.
- [14] Koko L.K., Kassin K.E., Yoro G., N'goran K. & Yao-Kouamé A. Corrélation entre le vieillissement précoce des cacaoyers et les caractéristiques morphopédologiques dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 24, pp. 1508-1519, 2009.
- [15] Assiri A.A., Yoro G.R., Deheuvels O., Kébé B.I., Keli Z.J., Adiko A. & Assa A. Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2 (1), pp. 55- 66, 2009.
- [16] Chaussod R. La qualité biologique des sols: Evaluation et implications. *Etude et Gestion des sols*, 3 (4), pp. 261-278, 1996.
- [17] Assiri A.A. Étude de la régénération cacaoyère en Côte d'Ivoire: impact des techniques de réhabilitation et de replantation sur le développement et la productivité des vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en relation avec l'état du sol. Thèse de Doctorat Unique, UFR STRM, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2010.
- [18] Ponge J.P. Effets des composés organiques sur la faune du sol. Perturbation des communautés et recolonisation des substrats pollués. Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS UMR 7179, 2004.
- [19] Kouassi K.G. Evaluation de différents fertilisants sur la croissance et le développement de pépinières de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) élevées sur différents substrats. Mémoire de fin d'études du Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA), option Agronomie et Productions Végétales, Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, 2012.
- [20] Appiah M.R., Ofori-Frimpong K. & Afrifa A.A. Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science*, vol. 33 (2), pp. 183-190, 2000.
- [21] Bertrand M., Barot S., Blouin M., Whalen J., de Oliveira T. & Roger-Estrade J. Earthworm services for cropping systems. *Agronomy of Sustainable Development*, 35, pp. 553–567, 2015.
- [22] Bressoud F., Parès L. & Lecompte F. Tomate d'abri froid. Fertilisation et restriction en azote: le standard actuel inadapté au sol. *Réussir Fruits et Légumes*, 220, pp. 30-31, 2003.

Antenatal diagnosis of anencephaly: A case report

Samia Bennaceur, Nassima Ouguerzi, and Jaouad Kouach

Department of Gynecology-Obstetric, Military Training Hospital Med V, Faculty of Medicine and Pharmacy, Mohammed V University, Rabat, Morocco

Copyright © 2024 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: Anencephaly is a congenital malformation of the nervous system. It's the most common neurological malformation after spina bifida. Its diagnosis is antenatal and a medical termination of pregnancy is recommended.

KEYWORDS: Anencephaly, lethal malformation, medical termination of pregnancy.

1 INTRODUCTION

Anencephaly is the absence of brain, cranial vault and scalp [1]. It's a lethal malformation that represents 40% of neural tube defects (NTDs). It is the second cause of nervous system abnormalities after spina bifida [1,2,3]. It touches 1/1000 births. The diagnosis is made by ultrasound of the 1st trimester [3].

In 80% of cases, anencephaly is an isolated malformation, and its causes may be iatrogenic, toxic, metabolic, nutritional or chromosomal.

In rare cases it is associated with other neurological malformation such as spina bifida or other malformations.

2 OBSERVATION

A 42 years old woman, gesture 5 parity 3, with link of first degree consanguinity and a history of early miscarriage, she had 3 vaginal deliveries, 3 living children without notable malformation. This Patient was admitted for first pregnancy check at 17 week of amenorrhea. The clinical examination was normal and the ultrasound showed a progressive single-fetal pregnancy corresponding to 17 weeks of amenorrhea with: absent cranial vault, absent frontal bones, prominent eyebrows and bulging eyes. the rest of the morphology was without abnormality.

The diagnosis of anencephaly was retained. the decision was to carry out a medical termination of the pregnancy after consent of the couple.



After blood tests and induction in labor with misoprostol according to the FIGO protocol 2017: 400 ug every three hours.

Uterine contractions began after the second pose and 5 hours later, she expelled a female fetus and the placenta in one piece. The ultrasound control confirmed uterine vacuity. There were no complication after the MTP.

We hadn't notice any other malformation than anencephaly.



3 DISCUSSION

Anencephaly is the second most common neural tube malformation after spina bifida. It represents 40% of NTDs [2,4]. The number of cases of anencephaly assessed worldwide is low, 1 case for 1000 births. This proportion varies from one country to another.

Epidemiological studies on NTDs including anencephaly made it possible to incriminate certain etiological factors. In our observation we noticed the notion of consanguineous marriage. Maternal age and parity are also risk factors. Studies concerning the influence of maternal age on the occurrence of an anencephaly NTD were contradictory [5,6].

Antenatal diagnosis of anencephaly can be made only by first trimester ultrasound. Anencephaly being defined by the absence of frontal bones above the orbital frames and the absence of brain tissue [1,7,8,9].

Once the diagnosis of anencephaly has been made, the therapeutic decision was to carry out a medical pregnancy termination. The protocol according to the recommendations on safe abortion were practiced.

4 CONCLUSION

Prenatal diagnosis of anencephaly provides better information to parents and makes it possible to consider medical termination of pregnancy. Folic acid supplementation before conception helps prevent recurrences or the occurrence of anencephaly.

REFERENCES

- [1] OMS/CDC/ICBDSR. Surveillance des anomalies congénitales: atlas de certaines anomalies congénitales. Genève: Organisation mondiale de la Santé; 2015. 29p. https://apps.who.int/iris/_fre.pdf
- [2] Hind A, Sarah M A, Chaara HA, Sofia J A, Fatima-Zahra F A, Melhouf MA. Anencephalie: Diagnostic anténatal, prise en charge et place du fœtus comme facteur de risque (à propos de 27 cas). International Journal of Medical Reviews and Case Reports (2022) 6 (19): 18-23.
- [3] Gilles G, Maitrot-Mantet L. Guide pratique d'échographie obstétricale et gynécologique, 3e édition, collection Elsevier Masson: précis. 2021. 392 pages ISBN: 978-2-294-74891-2 ISBN e-book: 978-2-294-74975-9.
- [4] Tshabu-Aguemon c, Fiogbe Da, Falola SMD, Gbovi J, Hounkpatin B, Denakpo JL, Lokossou A, Perrin RX. Diagnostic tardif des anomalies de fermeture du tube neural à l'Hôpital de zone de Klouékamé (Bénin): à propos de 4 cas. Journal de la SAGO, 2018, 19 (1): 23-28.
- [5] Gaunefet C E, Yanza S, Brice-Olivier B M, Valère NN, Elio KK, Pierrette K E, Chrysostome G J. A propos d'un cas au Centre Hospitalo-Universitaire pédiatrique de Bangui. Bull Med Owendo. Année 2019. Volume 17 N° 47.
- [6] Segbedji KAR, Tchagbele O-B, Takassi OE, Kombieni K, Talbousouma SM, Agrigna H, Atakouma YD, Djadou KE, Gbadoé AD, & Azoumah KD., (2022). Epidémiologie Des Anomalies Morphologiques Néonatales En Milieu Hospitalier À Kara (Nord Togo) De 2014 À 2019 European Scientific Journal, ESJ, 18 (3), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n3p1>.
- [7] Radouani M A, Chahid N, Benmiloud L, Elammari L, Lahlou K, Barka A. Epidémiologie et facteurs de risque des anomalies de fermeture du tube neural données marocaines. Pan African Medical Journal. 2015; 22: 43
doi: 10.11604/pamj.2015.22.43.5158.
- [8] Tanoh K E, Kouadio AF, Kouassi K, Bravo TB, Sanogo SC, Konate I. Malformations fœtales diagnostiquées à l'échographie obstétricale au CHU de Bouaké: à propos de 43 cas (Côte d'Ivoire) Revue Internationale des Sciences Médicales d'Abidjan - RISM - Rev int sc méd Abj -RISM- 2023; 25,1: 38-43.
- [9] Kouamé N, N'goan-Domoua A.M, Nikiéma Z, Konan A.N, N'guessan K.E, Sétchéou A. L'hydramnios: signe d'alerte au cours du diagnostic échographique anténatal d'anomalie morphologique fœtale ? J Radiologie Diagnostique interventionnelle 2013. 94; 449-453.

Validation des données d'estimation pluviométrique de « African Rainfall Climatology 2 » pour la zone cotonnière du Mali

[Validation of rainfall estimation data from « African Rainfall Climatology 2 » for the cotton production zone of Mali]

Souleymane Sidi Traore¹⁻²

¹Department de Géographie, Faculté d'Histoire et de Géographie, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Bamako, Mali

²Unité SIG et Télédétection, Laboratoire Sol-Eau-Plantes, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

Copyright © 2024 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: Nowadays, satellite rainfall estimation data are used in climate impact studies due to the low density of the rain gauge network in sub-Saharan Africa and the difficulties in accessing data from national meteorological services. However, limitations may exist in the effectiveness of these micro-scale data. Therefore, studies to evaluate the performance of these satellite products are always necessary before their use. This work aims to assess the validity of the rainfall estimation data from «African Rainfall Climatology – version 2» (ARC-2) in the cotton production zone of Mali from 1983 to 2002. The rainfall estimation data were extracted for 10 weather stations and compared to rainfall measurements from these weather stations. Pearson correlation test was used to check the relationship between the two datasets for each station. The comparison of daily rainfall values shows ARC-2 estimated rainfall values very close to the measured rainfall values at the stations, even if the ARC-2 data were found to be sometimes overestimated. The ARC-2 rainfall data also closely follows the annual cycle observed for monthly and annually measured data. The precipitation correlation coefficient between the ARC-2 data and the measured rainfall data is approximately 0.70, with a significance level of 99% at the monthly scale. After calibration, precipitation measured by ARC-2 reproduces almost 99% of the observed data, thus confirming that ARC-2 data can be used for climate studies in Mali.

KEYWORDS: Calibration, validation, ARC-2, cotton zone of Mali.

RESUME: De nos jours, les données d'estimation de pluie par satellite sont utilisées dans les études d'impact climatique en raison de la faible densité du réseau de pluviomètres en Afrique au sud du Sahara et des difficultés d'accès aux données des services nationaux de la météorologie. Toutefois, des limites peuvent exister quant à l'efficacité de ces données à micro-échelle. Par conséquent des études pour évaluer la performance de ces produits satellitaires sont toujours nécessaires avant leur utilisation, d'où l'objet de la présente étude. Ce travail se fixe comme objectif d'apprécier la validité des données d'estimation pluviométrique issues de « African Rainfall Climatology – version 2 » (ARC-2) dans la zone cotonnière du Mali de 1983 à 2002. Les données d'estimation des pluies ont été extraites pour 10 stations météorologiques et comparées aux mesures pluviométriques de ces stations. Le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour vérifier la relation entre les deux séries de données pour chaque station. Les comparaisons des valeurs de pluie à l'échelle journalière montrent des valeurs de pluie estimées très proches des valeurs de pluie mesurées en station, même si une surestimation est souvent mise en évidence sur les données ARC-2. Les données pluviométriques ARC-2 suivent également de près le cycle annuel observé aux échelles mensuelle et annuelle. Le coefficient de corrélation des précipitations entre les données ARC-2 et les données pluviométriques mesurées est d'environ 0,70, avec un niveau de signification de 99% à l'échelle mensuelle. Après étalonnage, les précipitations mesurées par ARC-2 reproduisent presque 99% des données observées, confirmant ainsi que les données ARC-2 peuvent être utilisées dans diverses études climatiques pour la zone.

MOTS-CLEFS: Calibration, validation, ARC-2, zone cotonnière du Mali.

1 INTRODUCTION

Les précipitations constituent l'un des paramètres climatiques clés dans la planification efficace de la majeure partie des activités humaines, notamment l'agriculture pluviale, la production d'énergie hydroélectrique et les ressources en eau [1], [2]. Toutefois l'un des grands problèmes à cela est le manque de données fiables mesurées dans les stations météorologiques qui sont nécessaires pour reproduire les tendances spatiales et temporelles des précipitations sur ce vaste domaine. En outre la disponibilité des données historiques mesurées reste un défi majeur en raison du coût élevé impliqué de l'établissement et de l'entretien des stations météorologiques dans la plupart des pays en développement [3].

Classiquement, le pluviomètre est la principale source de données sur les précipitations, ce qui constitue l'approche la plus précise et la plus fiable pour la mesure des précipitations. Cependant, les stations pluviométriques sont très rares et inégalement réparties dans de nombreuses régions du monde et particulièrement au Mali. De nos jours, un certain nombre de produits d'estimation des précipitations par satellite avec une résolution spatiale et temporelle élevée et une couverture quasi mondiale ont été développés [4], [2]. Ces données satellitaires sur les précipitations sont particulièrement utiles dans les régions semi-arides surtout d'Afrique au sud du Sahara, où les mesures au sol sont très rares voire inexistantes.

Les produits d'estimations pluviométriques satellitaires sont utilisés à travers diverses études pour présenter des informations cruciales sur la variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest. Toutefois, ces produits satellitaires sont associés à de nombreux types d'erreurs qui limitent leur utilisation. Par conséquent, l'évaluation de leurs performances est essentielle pour renforcer notre confiance dans leurs utilisations. Des études sur la validation des données d'estimation de pluie par satellites avec des données de station à l'échelle pays n'ont été effectuées que dans une poignée de pays en Afrique subsaharienne. Parmi ces rares études figurent celles de Haque et al. [5] en Tanzanie, Dembélé et Zwart [6] au Burkina Faso, Thiemig et al. [7] dans trois bassins fluviaux d'Afrique dont le bassin de la Volta; Amekudzi et al. [8] et Atiah et al. [2] au Ghana. Ces différentes études ont montré la performance des produits d'estimations de la pluie par satellites et soulignent la pertinence d'une évaluation locale avant leur utilisation spécifique. D'où l'importance de cette recherche dont l'objectif est d'apprécier la validité des données d'estimation pluviométriques issues de « African Rainfall Climatology – version 2 » (ARC-2) dans la zone cotonnière du Mali de 1983 à 2002.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone cotonnière (ZC) du Mali, également appelée Mali-sud, est située entre 3°59'02" et 10°36'09" de longitude ouest et 10°09'45" et 14°23'13" de latitude nord (Figure 1) avec une couverture de 150 000 km² et une population estimée à environ 8 millions en 2017 [9]. La ZC s'étend de la zone écoclimatique sahélienne (300-700 mm) au nord, soudanienne (700-1200 mm) au centre à la zone écoclimatique soudano-guinéenne (1200-1400 mm) au sud. La production de coton dans la zone est pilotée par la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT), spatialement organisée en 4 filiales, 41 filières et 520 zones de production agricole regroupant plus de 4 000 villages. L'agriculture est la principale activité de la région. Le mil, le sorgho et le coton sont principalement cultivés, tandis que le pastoralisme est pratiqué dans toute la zone d'étude. Le coton occupe environ 30% des surfaces cultivées, les céréales (maïs, sorgho et mil) occupent 60%, et seulement 10% des terres sont consacrées aux autres cultures (niébé, soja, arachide).

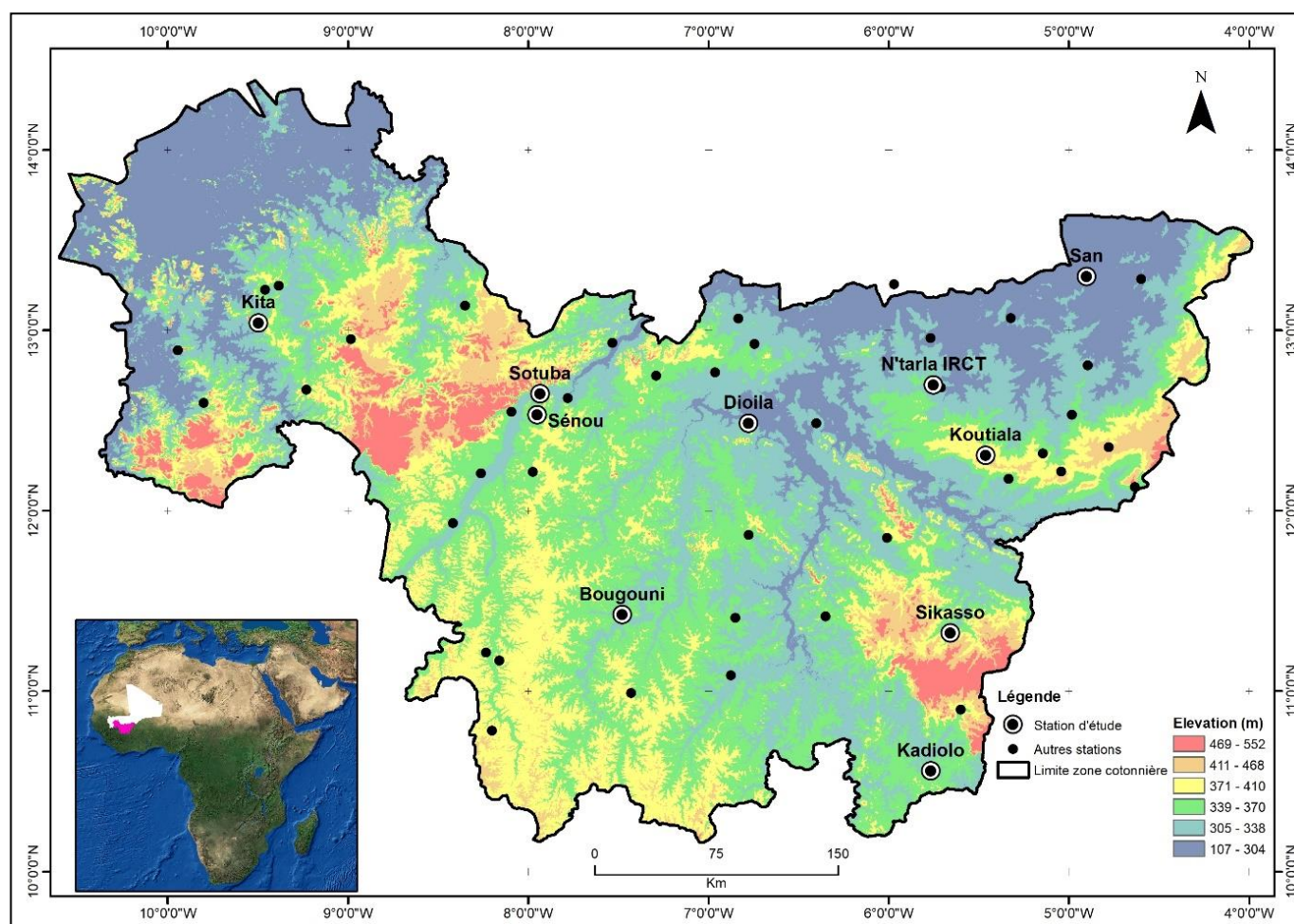


Fig. 1. Carte de localisation de la zone cotonnière du Mali avec les stations d'étude

2.2 LES DONNÉES

2.2.1 LES DONNÉES DE STATION

Les données de pluie journalière de 1983 à 2002 issues des mesures réelles de dix (10) stations météorologiques de la zone d'étude ont été collectées (Tableau 1). Ces stations appelées station de références dans cette étude sont parties des 54 stations météorologiques répertoriées dans la zone ne contenant pas plus de quatre (04) années de données manquantes. C'est ce critère qui a motivé leur choix pour le présent travail.

2.2.2 LES DONNÉES D'ESTIMATION DE PLUIE PAR SATELLITE

Les données sur les précipitations quotidiennes équivalentes ont été extraites de la base de données de pluie estimées par satellite ARC-2 (African Rainfall Climatology version 2) en utilisant les coordonnées des stations d'étude. ARC-2 est un ensemble de données satellitaires sur les précipitations quotidiennes disponibles depuis 1983 et ayant à une résolution spatiale de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ soit approximativement $11\text{km} \times 11\text{km}$ pour l'ensemble du continent. Ces données s'appuient sur ARC-1 qui a été développé à l'aide de l'algorithme appliqué dans la version 2 de l'estimation des précipitations (RFE-2) qui s'avère être parmi les produits les plus fiables des ensembles de données satellitaires couvrant l'Afrique [10]. ARC-2 est donc une nouvelle version d'ARC-1 avec un recalibrage sur la période 1983-2005 [11].

Tableau 1. Liste des stations utilisées

Code	Nom station	ZAE	Longitude (°O)	Latitude (°N)	Altitude (m)	Pluie annuelle (mm) 1983-2002
270131	Sénou	PK	7°57'00"	12°31'59"	373	818,2
270162	Bougouni	HBN	7°28'35"	11°25'34"	350	1095,6
270141	Dioila*	PK	6°46'32"	12°29'14"	309	792,1
270178	Kadiolo**	HBN	5°45'50"	10°33'34"	353	1043,7
270107	Kita	PM	9°29'43"	13°02'34"	349	921,0
270144	Koutiala	PK	5°27'38"	12°18'35"	411	833,1
270121	N'tarla IRCT*	PK	5°45'00"	12°42'00"	327	697,8
270100	San	BH	4°54'03"	13°18'03"	284	648,1
270165	Sikasso	PK	5°39'26"	11°19'25"	355	1069,4
270130	Sotuba	PM	7°55'589"	12°39'00"	315	866,4

ZAE: Zone Agro Ecologique; PK: plateau de Koutiala, HBN: haut Bani Niger, PM: plateau mandingue, BH: Plateau de Bandiagara; * station avec 01 année manquante; ** station avec 04 années manquantes

2.2.3 LES ANALYSES

Les analyses incluent une comparaison des précipitations journalières de deux sources (ARC-2 et les données pluviométriques mesurées) de chaque station. Ensuite, les cumuls mensuels, annuels sont également comparés. L'analyse de régression a été effectuée en utilisant les deux sources de données. En outre les indicateurs statistiques suivants ont été calculés: le coefficient de corrélation de Pearson (r) pour apprécier dans quelle mesure les estimations correspondaient aux valeurs mesurées (1); l'erreur moyenne (ME) pour estimer l'erreur d'estimation moyenne (2); le biais qui reflète le degré auquel la valeur mesurée est surestimée ou sous-estimée (3) [12] et l'erreur quadratique moyenne (RMSE) qui mesure la différence entre les deux sources données (4) [11].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (1)$$

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i) \quad (2)$$

$$\text{Biais} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2} \quad (4)$$

Où Si désigne les valeurs de précipitations estimées par satellite, Gi représente les valeurs de pluviométrie mesurées en station et n le nombre total de valeurs de données dans chaque mesure par satellite ou par station.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 COMPARAISON DES PLUIES JOURNALIÈRES

A l'échelle journalière, les estimations de pluie par satellite et les données pluviométriques ont été comparées pour chaque station. Les résultats (Tableau 2) montrent une liaison faible à moyenne entre les deux sources de données au niveau de toutes les stations. Les stations qui montrent une liaison moyenne entre les deux données sont Sénou (r = 0,52); San (r = 0,49) et Koutiala (r = 0,48). Le biais calculé est très proche de 1 pour toutes les stations. Pour toutes les stations, le biais varie entre 0,84 (station de N'Tarla) et 0,97 (station de San). Ces valeurs dénotent une faible sous-estimation des valeurs de pluie au niveau des stations par les données de ARC-2. Des résultats similaires avaient été rapportés par Novellas et Thiaw [11] dans leurs travaux de validation des données ARC pour la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et par Dembélé et Zwart [6] au Burkina Faso. La faible corrélation entre les données des deux sources au pas de temps journalier peut être liée à la perte de précipitations convectives plus localisées en ce qui concerne le type de comparaison.

Tableau 2. Indicateurs statistiques journalières

Station	r	Erreur quadratique moyenne (RMSE)	Biais	nb. total jour	nb. total mois	nb. total année
Sénou	0,52	6,90	0,93	7320	240	20
Bougouni	0,33	9,24	0,85	7320	240	20
Dioïla	0,30	7,17	0,86	6954	228	19
Kadiolo	0,33	8,30	0,87	5856	192	16
Kita	0,42	7,71	0,86	7320	240	20
Koutiala	0,48	6,82	0,90	7320	240	20
N'Tarla	0,37	7,03	0,84	6954	288	19
San	0,49	6,21	0,97	7320	240	20
Sikasso	0,38	8,31	0,90	7320	240	20
Sotuba	0,39	7,66	0,92	7320	240	20

Les résultats de cette analyse ont montré de faibles scores de corrélation entre les données ARC-2 et les données pluviométriques de station à l'échelle journalière. Certaines études antérieures [13], [14] avaient déjà montré cette faible corrélation entre les estimations des pluies par satellites et les mesures réelles dans les stations à l'échelle journalière. La surestimation et la sous-estimation des événements pluvieux par ARC-2 par rapport aux mesures réelles ont également été confirmées par d'autres études réalisées dans le nord du Nigéria [16] et au Burkina Faso [6].

3.2 COMPARAISON DES PLUIES MENSUELLES

Les données satellitaires quotidiennes sur les précipitations des sources ont été utilisées pour générer la série des pluies mensuelles. La Figure 2 montre les diagrammes de dispersion des estimations de précipitations par satellite par rapport à chacune des données des stations pluviométriques. Les indicateurs statistiques sont répertoriés dans le Tableau 3. Le coefficient de corrélation donne un excellent accord avec les données pluviométriques pour l'ensemble des produits satellitaires. La meilleure corrélation ($r = 0,96$) a été obtenue à la station de Koutiala, tandis que le score le plus faible mais toujours excellent ($r = 0,85$) a été obtenu à la station de Dioïla. Le biais mesuré entre les deux sources de données est aussi très proche du score parfait qui est de 1,00. Les erreurs moyennes mesurées sont variables selon les stations. Ces valeurs vont de -8,50 pour la station de Kadiolo à 20,92 pour la station de Bougouni. Il s'en déduit une sous-estimation des pluies par les données ARC-2 comparées aux mesures réelles dans les stations de Kadiolo, N'Tarla, San, et Sotuba et une surestimation dans les stations de Sénou, Bougouni, Dioïla, Kita, Koutiala et Sikasso.

Tableau 3. Indicateurs statistiques mensuels

Station	r	Erreur moyenne	Erreur quadratique moyenne (RMSE)	Biais
Sénou	0,94	10,01	36,2	0,86
Bougouni	0,92	20,92	53,3	0,77
Dioïla	0,85	0,57	48,4	0,99
Kadiolo	0,86	-8,50	63,1	1,11
Kita	0,89	7,01	47,2	0,91
Koutiala	0,96	0,87	25,4	0,99
N'tarla IRCT	0,90	-1,04	40,2	1,02
San	0,95	-3,51	26,5	1,07
Sikasso	0,95	3,00	30,7	0,97
Sotuba	0,92	-1,15	38,5	1,02

A l'échelle mensuelle, les résultats sont globalement cohérents avec l'analyse basée sur les observations des stations. Les estimations mensuelles des précipitations ont présenté de meilleures performances que celles des données journalières tout en montrant de fortes corrélations positives avec les données mesurées pour les dix stations d'étude. Cette amélioration des performances des estimations satellitaires des pluies à l'échelle mensuelle est due au fait que l'agrégation des données quotidiennes en valeurs mensuelles réduit les erreurs à l'échelle quotidienne [6], [13], [17].

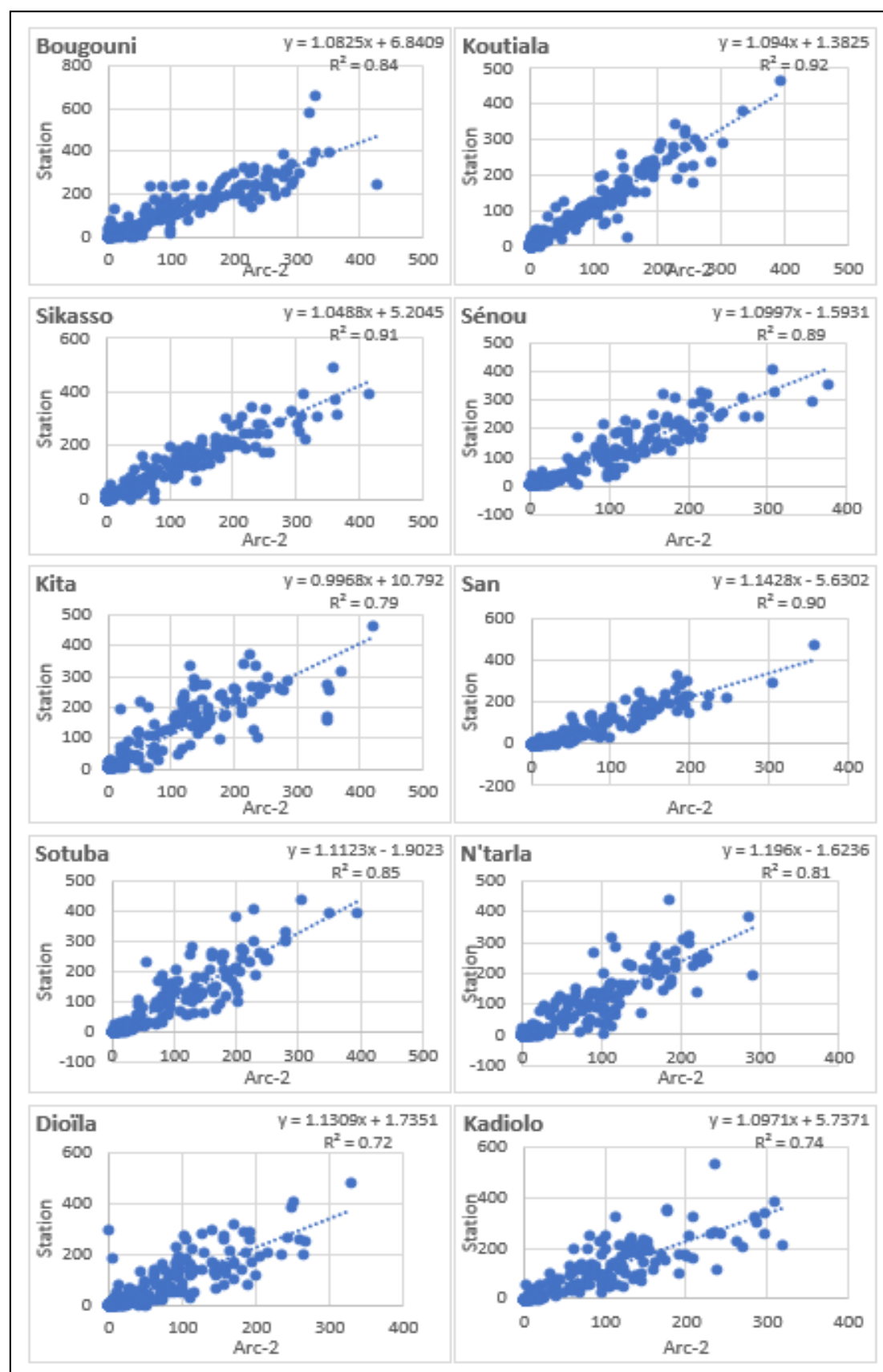


Fig. 2. Diagrammes de dispersion des précipitations cumulés mensuels de stations par rapport aux pluies estimées par satellite

3.3 COMPARAISON DES PLUIES ANNUELLES

Les données mensuelles cumulées sur les précipitations ont ensuite été cumulées en précipitations totales annuelles pour les données pluviométriques et ARC-2. Les équations de régression, les coefficients de détermination ainsi que les coefficients de corrélation sont présentés dans le Tableau 4. La meilleure corrélation a été relevée pour la station de Koutiala ($r = 0,85$), alors que la très faible corrélation a été relevée pour la station de Kita ($r = 0,17$). Les résultats montrent toujours que pour presque toutes les stations, les données corrigées reproduisent exactement le cumul pluviométrique annuel moyen mesuré. Les stations de Sikasso et de Kadiolo montrent une sous-estimation de la pluie par les satellites comparées aux mesures réelles. C'est seulement au niveau de la station de San que les données étalonnées sont supérieures aux données réelles.

Tableau 4. Indicateurs statistiques annuels

Station	Equation	R ²	r	Pluie station mm	Arc-2 (mm)	Arc-2_cor (mm)
Sénou	$y = 0,7951x + 230,1$	0,68	0,82	880,6	818,2	880,6
Bougouni	$y = 0,9087x + 244,86$	0,42	0,65	1095,6	936,2	1095,6
Dioila	$y = 0,4927x + 462,95$	0,22	0,46	796,8	677,6	796,8
Kadiolo	$y = 0,7094x + 415,34$	0,44	0,66	1043,7	883,2	1041,9
Kita	$y = 0,1823x + 776,28$	0,03	0,17	921,0	794,0	921,0
Koutiala	$y = 0,9062x + 156,76$	0,73	0,85	833,1	746,3	833,1
N'tarla IRCT	$y = 0,7575x + 285,34$	0,38	0,61	813,9	697,8	813,9
San	$y = 0,9044x + 81,712$	0,56	0,83	464,5	504,5	538,0
Sikasso	$y = 0,7913x + 309,64$	0,69	0,80	1069,4	960,1	989,9
Sotuba	$y = 0,8067x + 221,54$	0,49	0,70	866,4	799,4	866,4

Au pas de temps annuel, les résultats montrent des performances variées pour les différentes stations d'étude. La très faible liaison a été observée au niveau de la station de Kita avec un coefficient de corrélation $r : 0,17$ entre les données réelles de pluie et les données d'estimation pluviométrique de ARC-2. Les meilleures performances ont été observées au niveau des stations de Sénou ($r : 0,82$); Koutiala ($r : 0,85$); San ($r : 0,83$) et Sikasso ($r : 0,80$). Nonobstant ces performances variées, les cumuls moyens des données ARC-2 corrigées produisent des valeurs proches des mesures réelles de station.

4 CONCLUSION

La présente étude a évalué la performance des données ARC-2 pour la zone cotonnière du Mali au pas de temps journalier, mensuel et annuel pour la période 1983-2002. Malgré la couverture limitée et la rareté des points de référence au niveau des stations météorologiques, certaines caractéristiques cohérentes ont émergé de l'analyse. Il a été noté une faible relation entre les données d'estimation de la pluie par satellite et les valeurs de pluie mesurées en station à l'échelle journalière avec un coefficient de corrélation inférieur à 0,5 pour la plupart. La performance des données ARC-2 s'améliore au fur et à mesure que les données sont agrégées à l'échelle mensuelle et annuelle. Les valeurs de pluies corrigées se sont montrées très proches des données de stations. De ce fait elles peuvent être utilisées pour des analyses climatiques même si des travaux complémentaires peuvent être nécessaires pour toujours minimiser les écarts.

FINANCEMENT

AgrECO CML1430

REFERENCES

- [1] Amekudzi, L., Yamba, E., Preko, K., Asare, E., Aryee, J., Baidu, M., & Codjoe, S. (2015). *Variabilities in Rainfall Onset, Cessation and Length of Rainy Season for the Various Agro-Ecological Zones of Ghana*. *Climate*, 3 (2), 416-434. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/cli3020416>.
- [2] Atiah, W.A.; Tsidu, G.M.; Amekudzi, L.; Yorke, C. (2020). *Trends and interannual variability of extreme rainfall indices over Ghana, West Africa*. *Theor. Appl. Climatol*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03114-6>.
- [3] Su, F., Hong, Y., Lettenmaier, D.P., (2008). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *J. Hydrometeorol* 9 (4), 622-640. <https://doi.org/10.1175/2007JHM944.1>.
- [4] Satgé, F., Defrance, D., Sultan, B., Bonnet, M.P., Seyler, F., Rouché, N., Pierron, F., Paturel, J.E., (2020). Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa, *Journal of Hydrology*, 581,124412. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124412>.
- [5] Haque, R., Maskey, S., Uhlenbrook, S., and Mull, M., (2013). Validation of TRMM Rainfall for Pangani River Basin in Tanzania. *Journal of Hydrology and Environmental Research*, 1, 30-40.
- [6] Dembélé, M., and Zwart, S.J., (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 37: 17, 3995-4014, <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1207258>.
- [7] Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., Levizzani, V., and De Roo, A., (2012). Validation of Satellite-Based Precipitation Products over Sparsely Gauged African River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 13, 1760-1783. <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-12-032.1>.
- [8] Amekudzi, L.K., Osei, M.A., Atiah, W.A., Aryee, J.N.A., Ahiataku, M.A., Quansah, E., Preko, K., Danuor, S.K. and Fink, A.H. (2016). *Validation of TRMM and FEWS Satellite Rainfall Estimates with Rain Gauge Measurement over Ashanti Region, Ghana*. *Atmospheric and Climate Sciences*, 6, 500-518. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2016.64040>.
- [9] Soumaré, M., Traoré, S., (2019). Présentation des zones cotonnières du Mali., Soumaré M. (éd), Atlas des zones cotonnières du Mali, deuxième édition, IER-CIRAD, pp 11.
- [10] Love, T.B., Kumar, V., Xie, P., Thiaw, W., (2004). A 20-year daily Africa precipitation climatology using satellite and gauge data. In: *Proceedings of the 84th AMS Annual Meeting, Vol. Conference on Applied Climatology, Seattle, WA- (CD-ROM)*.
- [11] Novella, N.S., and Thiaw, W.M., (2013). African Rainfall Climatology Version 2 for Famine Early Warning Systems. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 588-606, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0238.1>.
- [12] Duan, Z., Bastiaanssen, W., and Liu, J., (2012). Monthly and Annual Validation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Products in the Caspian Sea Region for the Period 1999-2003. Paper presented at the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Germany, July 22–27.
- [13] Usman, M., Nichol, J.E., Ibrahim, A.T., Baba, L.F., (2018) Spatio-temporal analysis of trends in rainfall from long term satellite rainfall products in the Sudano Sahelian zone of Nigeria. *Agric for Meteorol* 260–261: 273–286. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.06.016>.
- [14] Gebereetal, M., Bitew, M.M., Hirpa, F.A., Tesfay, G.N., (2014) Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile basin: lowland plain versus Highland Mountain. *Water Resour Res* 50: 8775-8790.
- [15] Sanogo S, Fink HF, Omotosho JA, Ba A, Redl R, Ermert V (2015) Spatio-temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. *Int J. Climatol* 35 (15): 4589–4605. <https://doi.org/10.1002/joc.4309>.
- [16] Salami AA (2019) Temporal variations of selected climatic parameters in Osogbo, Nigeria for the period of four decades (1975–2014). *American Journal of Earth and Environmental Sciences* 2 (1): 9-14.

Enseignement-apprentissage et éveil scientifique en chimie: Cas des éléments chimiques à l'école primaire et maternelle

[Teaching-learning and scientific awakening in chemistry: Case of chemical elements in primary and nursery school]

Mpunga Kalota Gloria¹, Kapenga Kasongo Jean-Jacques², Ikolongo Befembo Jean Pierre³, Mubedi Ilunga Josué⁴, Biyavanga Bikindu Joseph⁵, Loba Charlotte⁶, Fele-Fele Mafuta⁷, Mwika Kalanga Adolphine⁸, Malongo N'Kodia Nkutu Pierre⁹, Mukendi Wa Mpoyi Pierre¹⁰, Makindu Kizibisha Darius¹¹, Indenge Y'Essambalaka Joseph¹², Pongi Nzita Kinkela Jérôme¹³, and Likotelo Binene Camile¹⁴

¹Chef des travaux à la faculté des sciences: Chimie-physique de l'Université Pédagogique Nationale de Kinshasa, RD Congo

²Professeur à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

³Professeur à la faculté des sciences: Chimie-physique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁴Professeur à la faculté des sciences: Chimie-physique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁵Chef des travaux à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁶Directrice adjointe à l'école primaire 2 de L'Athénées de la Gombe, Kinshasa, RD Congo

⁷Directeur à l'école primaire 2 du Collège BOBOTO ex Albert 1^{er} à la Gombe, Kinshasa, RD Congo

⁸Directrice et promotrice à l'école primaire et maternelle Les Cannetons à Lubumbashi, RD Congo

⁹Professeur à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹⁰Professeur à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université de Kinshasa, RD Congo

¹¹Professeur à la faculté de sciences sociales: Relations Internationales de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹²Professeur à la faculté des sciences: Mathématique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹³Professeur à la faculté des sciences: Chimie- Physique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹⁴Assistant de deuxième mandat à la faculté de sciences: Mathématique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

Copyright © 2024 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 thesis allowed us to realize that chemical elements can be well mastered by very young children thanks to a method of well-arranged didactic bridges, i.e. from concrete everyday examples to chemical concepts usually taught at the highest levels.

KEYWORDS: teaching, learning, awakening, scientific, school chemistry, primary, nursery.

RESUME: Cette thèse nous a permis de nous rendre compte que les éléments chimiques peuvent être bien maîtrisés par les tous petits grâce à une méthode des ponts didactiques bien agencés c.à.d. des exemples concrets de tous les jours à des notions chimiques enseignées habituellement aux plus hauts niveaux.

MOTS-CLEFS: enseignement, apprentissage, éveil, scientifique, chimie école, primaire, maternelle.

1 INTRODUCTION

Notre thèse de didactique de chimie physique s'inscrit dans la voie de solution, ainsi que vous lirez les problèmes liés à l'enseignement de la chimie dans la problématique.

Chaque pays doit construire son enseignement scientifique en fonction de son propre niveau de développement technologique et scientifique.

Enseigner avec du matériel didactique directement réutilisé dans le cadre de la vie quotidienne.

La question des moyens matériels et financiers est importante pour l'enseignement des sciences (expérimentales). La plupart des établissements sont encore à l'état de sous-équipement.

En effet, cette évolution du problème conduit à des choix économiques que personne n'ose aborder et qui seront bientôt incontournable, effectués de manière anarchique, sous l'effet des pressions diverses.

C'est ainsi que nous avons tenté dans notre thèse de proposer quelques pistes de solution (aux erreurs observées depuis toujours) pour combler cette carence, qui est l'enseignement de la chimie en primaire et maternelle.

2 PROBLÉMATIQUE

La situation générale de l'enseignement de chimie dans les écoles du pays est très préoccupante. Les apprenants accusent des graves lacunes et insuffisances dans leur « savoirs » de base en chimie.

L'on remarque que les élèves de biochimie qui terminent les études secondaires dans cette option n'ont pas la maîtrise d'un tiers des éléments du tableau périodique.

Cette situation démontre combien notre pays riche en ressources minières, ne se rend pas compte de la formation de ses citoyens en tant que futurs gestionnaires desdites ressources. Nous considérons que stratégiquement, le système éducatif congolais devrait accorder une place de choix à l'enseignement des éléments chimiques en général.

L'échec de l'enseignement de chimie s'explique par multiples raisons: Cette situation malheureuse peut s'expliquer par de nombreux facteurs qui parmi lesquels, on cite souvent:

1. Le manque de matériel didactique et d'autres documents (manuels des élèves et des enseignants).
2. Le programme de cours souvent ambitieux et mal élaboré.
3. L'insuffisance d'un personnel enseignant qualifié.
4. Le système d'enseignement quasi livresque pratiqué dans nos écoles: les professeurs se contentent souvent de copier servilement les rares manuels de chimie qui sont dans la plupart des cas mal adaptés aux réalités et ne répondent pas aux besoins ressentis par les enseignants.
5. Le cours de chimie souffre de plus de théories.
6. La politique d'équipements des établissements n'a pas eu de suivi: l'équipement est devenu obsolète.

3 HYPOTHÈSES

A titre d'hypothèses, nous estimons que notre pays, et notre thèse réussissaient à s'inscrire dans la voie de solution qui est:

- 1) L'enseignement de la chimie à l'école primaire et maternelle
- 2) La formation des enseignants
- 3) L'attribution des livres de chimie du primaire et de la maternelle aux enseignants et aux tout petits
- 4) L'attribution des tableaux périodiques de mendeleïev aux enseignants et aux tout petits
- 5) La construction et l'attribution d'un mini laboratoire dans chaque école selon le programme des cours suivant:

- Le Matériel didactique;
- L’étude de l’atome
- Le nom de l’élément chimique
- La fabrication du Tableau Périodique de Mendeleïev
- La fabrication d’un mini laboratoire de chimie.

4 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Dans le cadre de notre thèse qui stipule la chimie à l’école primaire et maternelle, nous visons à faciliter l’acquisition des éléments chimiques selon

- Un programme accessible et bien élaboré
- L’acquisition d’un personnel enseignant qualifié par le biais de la formation des enseignants
- Un système d’enseignement quasi pratique dans nos écoles car le matériel est fabriqué et apporté par les tout petits-mêmes en classe
- Un matériel adapté aux réalités et aux besoins ressentis par les enseignants
- Un cours de chimie avec plus de pratique que des théories
- Une politique d’équipements selon la fabrication des mini laboratoires à éléments chimiques.

5 MÉTHODOLOGIE

1) Du matériel didactique:

Chaque élément chimique est apporté en classe vu et touché par les tout petits.

2) De l’étude de l’atome: (selon les niveaux des classes)

- Le nom de l’élément chimique.
- Son symbole.
- Le numéro atomique.
- *le nombre d’électrons par élément chimique.

- Les noms des couches.

*plus les périodes.

- La valence et
- La masse atomique. Selon les niveaux de classe.

Par exemple: à partir de la 4^{ème} primaire. Le nom des savants et de leurs pays.

3) De la fabrication du Tableau Périodique de Mendeleïev par les tout petits

Selon une méthode appropriée au comptage des chiffres et nombres à partir de la 1^{ère} année primaire.

4) De la fabrication du mini-laboratoire: chaque école doit avoir son mini-laboratoire et non aller une fois l’an ou tous les cinq ans en pèlerinage observer un laboratoire de chimie.

5) Des quelques matériels et réactifs.

6 RÉSULTATS ATTENDUS

Ce programme est une innovation. Ce programme expérimenté dans plus de 147 écoles a obtenu par référendum le résultat de 97,7% pourcent pour être enseigné dans les classes inférieures à la 3^{ème} secondaire.

Ont participé aux séminaires de formations :

- Les inspecteurs
- Directeurs d'écoles
- Enseignants eux-mêmes
- Et surtout les inspecteurs de la moitié de Kinshasa, Selembao, Gombe, Lingwala, Bandalungwa, Kintambo, Ngaliema, Mont-Ngafula (Lukunga) et N'sele.

Ont participé aux expositions:

- Le collège Boboto nous a même écrit dans un livre distribué à chaque élève.
- La Semaine de la Science et des Technologies sous le stand « chercheur indépendant » organisé du 20 au 25 avril 2019 à l'Athénée de la Gombe.
- Chute de ma vallée sous le stand n°37 lors de la visite présidentielle sur ce site
- Salle de conférence du lycée Bosangani durant deux jours devant les inspecteurs de la moitié de Kinshasa, Selembao, Gombe, Lingwala, Bandalungwa, Kintambo, Ngaliema, Mont-Ngafula (Lukunga) et N'sele sous la houlette de la maman Chef IPP (Inspectrice Principale Provinciale)

7 CONCLUSION

De ce qui précède, nous affirmons que: oui, la chimie soit enseignée en primaire et maternelle selon le programme.

- 1) Le Matériel didactique
- 2) L'étude de l'atome
- ou de l'élément chimique
- 3) La fabrication du Tableau Périodique de Mendeleïev
- 4) La fabrication d'un mini laboratoire de chimie.
- 5) et surtout La formation des enseignants du primaire et de la maternelle
- 6) Cette thèse nous a permis de nous rendre compte que les éléments chimiques peuvent être bien maîtrisés par les tous petits grâce à une méthode des ponts didactiques bien agencés c.à.d. des exemples concrets de tous les jours à des notions chimiques enseignées habituellement aux plus hauts niveaux.
- 7) Surtout que nous avons épinglés quelques difficultés majeures éprouvées par les apprenants aux plus hauts niveaux depuis toujours à partir de la 3^e 4^e, 5^e, 6^e humanités jusqu'à l'université. Entre autres. Surtout un taux élevé d'échecs, l'abstraction (abstrait) de l'enseignement de la chimie que nous avons combattu ici par la méthode du « matériel didactique » obligatoire qui a émerveillé les tous petits mais surtout leurs enseignants lors de la formation, eux qui, est-il besoin de le rappeler ?, constituaient un échantillon des non chimistes mais surtout la quasi-totalité ayant une aversion envers le cours de chimie et pour cause, une chimie mal enseignée par des enseignants à cursus prouvant le manque de capacité à enseigner (dispenser) ce cours aux apprenants, enseignants ressentant le flou dans la connaissance de chimie, la plupart des notions n'ayant pas un pont entre elles pour s'agencer clairement dans une suite des idées aptes à être transmissible aux apprenants (élèves)

8 ASPECT FINANCIER DE LA RECHERCHE ET DE SA RÉALISATION

Notre thèse est un projet communautaire.

5° Financièrement, le budget s'élève à

- 1) 75 000 dollars américains et
- 2) 175 000 dollars américains.

25 000 pour la soutenance de la thèse et

175 000 pour

- Les livres profs + élèves
- Tableaux périodiques
- Matériel didactique
- Minilaboratoire de chimie

Car la chimie ouvre les portes à:

- L'environnement
- La médecine

- La biologie
- La Vétérinaire
- L’agronomie
- La pharmacie
- Aux vaccins de la COVID-19 et
- Le réchauffement climatique
- Chimie et
- Physique.

1^{er}ement Soutenance de thèse signifie

- Frais à payer administrativo-académique
- Frais liés à la publication et
- à la recherche (deux voitures pour le déplacement et le transport du matériel)
- Achat imprimante + ordinateur + cartouches
- (noires et en couleurs) + papiers différentes dimensions
- Il y a les scannages à faire +
- les photocopies en couleur +
- Les planches en couleur
- Le paiement de la main d’œuvre et de son matériel;
- La collation de moi et les autres
- Les frais du rectorat
- de la faculté
- du promoteur
- du co-promoteur
- Des membres du jury
- Location de la salle de soutenance
- Sonorisation +
- Rétroprojecteur
- Achat toge et la liste n’est pas exhaustive.

REMERCIEMENTS

Nous avons l’obligation de nous acquitter d’un agréable devoir, celui de remercier l’éternel Dieu tout puissant qui nous a accordé le souffle de vie. Et toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la rédaction de cet article. Nos remerciements s’adressent particulièrement à tous les enseignants (es) du primaire et de la maternelle de trois communes éducationnelles suivantes: Ngaliema, n’séle et Gombe ainsi qu’à leurs inspecteurs (trices) qui nous ont aidées dans la réalisation de cette tâche d’expérimentation didactique de la chimie en primaire et maternelle. Nous remercions vivement les professeurs d’universités kapenga kasongo Jean-Jacques, Malongo n’kodia Nkutu Pierre, Mukendi Wa Mpoyi Pierre, Makindu kizibisha Darius, Indenge Y’Essambalaka Joseph, Pongi Nzita Kinkela Jérôme pour leurs orientations

Dans le même registre, nous ne saurons passer sous silence les talents du chef de travaux Mbiyavanga Makindu Joseph de la faculté des sciences de l’éducation de l’Université Pédagogique Nationale, pour sa contribution à l’encadrement et l’orientation qu’il nous a fait bénéficier tout au long de notre thèse. Ainsi que l’assistant Likotelo Binene Camile du département de mathématique- informatique dans la même Université.

REFERENCES

- [1] ASTOLFI, J.-P. L’école pour apprendre, ESF, Paris, 1992.
- [2] BANDZUCK C., BELISLE L., & VALIQUETTE P., Odyssée, sciences physiques, ERPI, Montréal, 1991.
- [3] BERTRAND Y., Théories contemporaines de l’éducation, Chronique sociale (Lyon) et Éditions nouvelles (Montréal), 1983.
- [4] BIHOUIX P. et De GUILLEBON B., Quel avenir pour les métaux ? Raréfaction des métaux: un nouveau défi pour la société, EDP Sciences, 2002.
- [5] BONTEMPS G. (1971), Chimie 3, éditions Didier, Bruxelles, Montréal, Paris.
- [6] BRETON-GRAVEREAU S. et THIBAUT D., L’aventure des écritures: matières et formes, éd. Bibliothèque nationale de France, 1998.

- [7] BUTTERLIN, P., Les Temps proto-urbains de Mésopotamie: contacts et acculturation à l'époque d'Uruk au Moyen-Orient, Paris, 2003.
- [8] CALVET L.-J., Histoire de l'écriture, Hachette, 1998.
- [9] CHIGNIER J., Les systèmes d'écriture: un savoir sur le monde, un savoir sur la langue, éd. Centre régional de documentation pédagogique, 1990.
- [10] CHRISTIN A.-M., Histoire de l'écriture, de l'idéogramme au Multimédia, Flammarion, 2001, traduction anglaise 2002, Édition arabe Bibliotheca Alexandrina, 2005, 432 pages (400 Illustrations).
- [11] COHEN, M. et PEIGNOT, J., Histoire et art de l'écriture, Bouquins, Robert Laffont, 2005.
- [12] COMENIUS, La Grande Didactique. Traité universel D'enseigner tout à tous (1657), trad., KLINCKSIECK, coll. «Philosophie de l'éducation», 2002.
- [13] DE CORTE E. & Cie, Les fondements de l'action didactique, Bruxelles, A. De Boeck, 1979.
- [14] DE LANDSHEERE, G. Evaluation continue et examens, Précis de docimologie, Paris, Bruxelles, Nathan – Labor, 1971.
- [15] DE LANDSHEERE G., Introduction à la recherche en Education, G. THONE, 1982.
- [16] EL KHISHEN R., ZEITUNLIAN M., DIYA H., EL GHOUL, Chimie, 9^e année, Education de base, CRDP, Liban, 2011.
- [17] EMSLEY, J., Les éléments chimiques, Paris, Polytechnica, 1993.
- [18] FEVRIER J., Histoire de l'écriture, éd. Payot, 1995.
- [19] GLASSNER, J.-J., Écrire à Sumer: l'invention du cunéiforme, Seuil, 2001.
- [20] KAMBAYI BWATSHIA, *Pour la pédagogie de la recherche Scientifique en sciences humaines*, Centre de Recherche EUGEMONIA/CRID-UPN, Kinshasa, 2005.
- [21] LEICKMAN B. et ZIEGLER C., Naissance de l'écriture, cunéiformes et hiéroglyphes, Éditions de la Réunion des musées nationaux, Paris, 1995.
- [22] MINDER M., Didactique fonctionnelle, Objectifs, Stratégies, Evaluation, A. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 1996.
- [23] NGONGO DISASHI R., Bases scientifiques de l'Inspection, Module de formation, UNESCO –PASE, 2008.
- [24] NGONGO DISASHI R., Evaluation de l'Enseignement et de l'apprentissage, Module de Formation, UNESCO – PASE, Kinshasa, 2008.
- [25] NGONGO DISASHI R., Observation des classes: Module de Formation, UNESCO – PASE, 2008.
- [26] NISSEN, H.J., DAMEROW, P. et ENGLUND, R.K., *Archaic Bookkeeping*, Chicago, 1993.
- [27] PIAGET J., La naissance de l'intelligence chez l'enfant, Paris, Delachaux et Niestlé, 1936.
- [28] Programme national de l'enseignement primaire, UNESCO – EPSP, 2005.
- [29] ROEGERS X., L'A.P.C. Qu'est-ce que c'est?, EDICEF, 2006.
- [30] SONGA MUNYAKA G., Définition des objectifs pédagogiques, exposé inédit, Kinshasa, 2000.
- [31] REUNIER, A., Concevoir un plan de formation, IPNETP, CRAC, 1992.
- [32] VIERS R., Langues et écritures de la Méditerranée, Actes du forum des 9, 10 et 11 mars 2001, Maison du Séminaire, Nice, 2007, pp. 37-50.
- [33] LE BRUN, A. et VALLAT F., Les débuts de l'écriture à Suse, dans Cahiers de la DAFI, 8, 1978.
- [34] Encyclopédie Moderne « Grandes inventions», Tome II, ILSC, Londres, S.A.
- [35] La BORDERIE R., Lexique de l'éducation, Nathan Université, 1998.
- [36] LUFT, R. Dictionnaire des corps purs simples de la chimie, Nantes, Cultures et Techniques, 1997.
- [37] RAYNAL F., RIEUNIER A., Pédagogie. Dictionnaire des concepts clés, ESF, 2007.
- [38] http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tableau_périodique_des_éléments&oldid=91722074, consulté le 18 octobre 2022.
- [39] <http://site.ifrance.com/okapi/chimie.htm>, consulté le 19 août 2022.

Enseignement-apprentissage et éveil scientifique en chimie: Cas des éléments chimiques à l'école primaire et maternelle (La structure de l'atome)

[Teaching-learning and scientific awakening in chemistry: Case of chemical elements in primary and nursery school (The structure of the atom)]

MPUNGA KALOTA Gloria¹, KAPENGA KASONGO Jean-Jacques², IKOLONGO BEFEMBO Jean Pierre³, MUBEDI ILUNGA Josué⁴, BIYAVANGA BIKINDU Joseph⁵, LOBA Charlotte⁶, MAFUTA Fele-Fele⁷, MWIKA KALANGA Adolphine⁸, MALONGO N'KODIA NKUTU Pierre⁹, MUKENDI WA MPOYI Pierre¹⁰, MAKINDU KIZIBISHA Darius¹¹, INDENGE Y'ESSAMBALAKA Joseph¹², PONGI NZITA KINKELA Jérôme¹³, and LIKOTELO BINENE Camile¹⁴

¹Chef des travaux à la faculté des sciences: Chimie-physique de l'Université Pédagogique Nationale de Kinshasa, RD Congo

²Professeur à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

³Professeur à la faculté des sciences: Chimie-physique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁴Professeur à la faculté des sciences: Chimie-physique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁵Chef des travaux à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁶Directrice adjointe à l'école primaire 2 de L'Athénées de la Gombe, Kinshasa, RD Congo

⁷Directeur à l'école primaire 2 du Collège BOBOTO ex Albert 1^{er} à la Gombe, Kinshasa, RD Congo

⁸Directrice et promotrice à l'école primaire et maternelle Les Cannetons à Lubumbashi, RD Congo

⁹Professeur à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹⁰Professeur à la faculté de sciences de l'éducation: Psychologue scolaire de l'Université de Kinshasa, RD Congo

¹¹Professeur à la faculté de sciences sociales: Relations Internationales de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹²Professeur à la faculté des sciences: Mathématique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹³Professeur à la faculté des sciences: Chimie- Physique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

¹⁴Assistant de deuxième mandat à la faculté de sciences: Mathématique de l'Université Pédagogique Nationale, RD Congo

Copyright © 2024 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 thesis allowed us to realize that chemical elements can be well mastered by very young children thanks to a method of well-arranged didactic bridges, i.e. from concrete everyday examples to chemical concepts usually taught at the highest levels.

KEYWORDS: teaching, learning, awakening, scientific, chemistry, school, primary, nursery, atom.

RESUME: Cette thèse nous a permis de nous rendre compte que les éléments chimiques peuvent être bien maîtrisés par les tous petits grâce à une méthode des ponts didactiques bien agencés c.à.d. des exemples concrets de tous les jours à des notions chimiques enseignées habituellement aux plus hauts niveaux.

MOTS-CLEFS: enseignement, apprentissage, éveil, scientifique, chimie, école, primaire, maternelle, atome.

1 INTRODUCTION

Le but de cette recherche est d'étudier des voies et moyens pouvant faciliter l'intégration et l'initiation des enfants aux notions d'éléments chimiques au niveau maternel et primaire en République Démocratique du Congo.

Notre but dans ces articles est de tracer, d'écrire les leçons, la didactique d'approche de (1) comment représenter la structure de l'atome (du tableau périodique) aux tous petits.

2 PROBLÉMATIQUE

Les enfants en bas âges, les jeunes enfants parviennent-ils à représenter, c'est-à-dire, dessiner les différentes parties de l'atome ? tout en respectant les couleurs de chacune ? dans leurs cahiers ou sur une feuille de papier ?

3 HYPOTHÈSES

A titre d'hypothèses, nous estimons que les tous petits, les jeunes enfants réussiraient à dessiner l'atome et citer ses parties tout en respectant les couleurs de chacune de ces parties dans leurs cahiers.

4 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Dans le cadre de notre thèse qui stipule la chimie à l'école primaire et maternelle, nous visons à faciliter l'apprentissage de la chimie aux jeunes enfants et par là (leur) faciliter aussi l'acquisition du matériel didactique (d'appoint), le rendre (matériel didactique) accessible à chaque enfant pour plusieurs exercices et devoirs et surtout le plus important c'est de permettre aux tous petits de le fabriquer eux-mêmes.

Selon la méthodologie suivante: (même en vingt exemplaires pour servir:

- A la répétition est la mère de la science, c'est-à-dire différents exercices;
- Aux interrogations;
- Aux devoirs à domiciles, tels que:
 - Dessinez l'atome
 - Nommer les parties de l'atome
 - Dire ce qu'on trouve dans le noyau atomique

Sur dix feuilles ou dix papiers cartonnés en y écrivant selon les couleurs de chaque partie qui sont:

- Le rouge pour le noyau
- Le noir pour la couche électronique et
- Le bleu pour l'électron

5 MÉTHODOLOGIE

Voir planches n01, n02, n03 et n04

1^{ère} leçon:

Branche: Chimie

Sujet de la leçon: La structure de l'atome

A) Révision

Motivation: sur le fruit à noyau: L’avocat

D’une façon préférentielle

Citez les fruits que nous mangeons?

R/ Orange, papaye, mandarine,
l’avocat.

Cette question vise à nous amener à l’avocat.

Dès qu’un enfant cite l’avocat on le met, la laisse debout et on arrête la citation

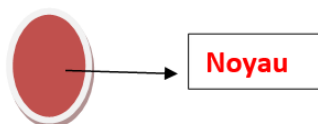
B) Développement de la leçon

Le (a) maître (sse) dessine, schématise l’avocat au tableau noir et y place la légende sans citer la chair:

Voir planche n° 1 ci-dessous

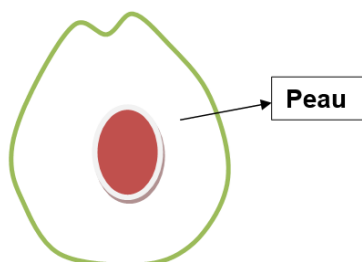
L’avocat

- (1) Elle dessine d’abord le noyau toujours en rouge et dis, ça
- (2) c’est le noyau de l’avocat.



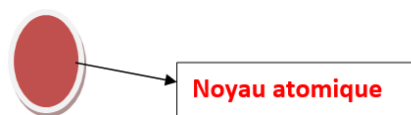
Il dessine la peau et dit:

L’avocat a une peau.

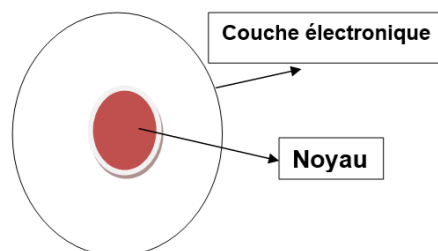


L’atome

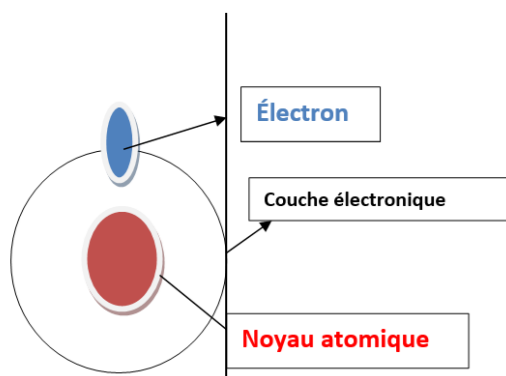
- (4) Immédiatement après il passe directement à la schématisation de l’atome au dessin progressif de l’atome /elle commence de façon similaire à /représenter le schéma de l’atome / elle dira: l’atome aussi a un noyau / et tout en le dessinant, elle ajoute /la légende noyau et spécifie, /noyau de l’atome ou **noyau atomique**



- /et immédiatement aussi elle dit en /Dessinant: l’atome aussi à une couche / elle ajoute électronique parce que /c’est là que se trouve l’électron.



La maitresse dessine immédiatement l’électron sur la couche électronique



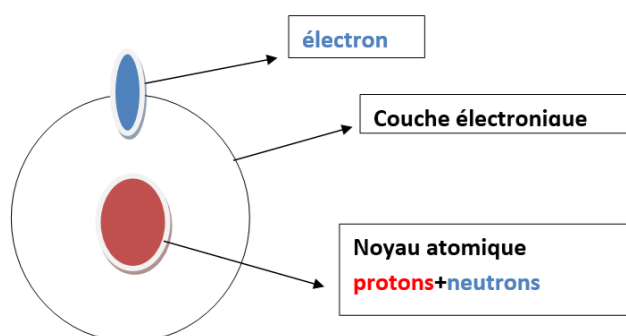
La maitresse dira:

Le **noyau** est toujours en **rouge**

La couche électronique en noir

L'électron en bleu

Le noyau atomique contient les **protons** et les **neutrons**.



Le nombre des **protons** = au nombre des **électrons** = Numéro atomique.

Le nombre des protons est égale au nombre d'électrons, c'est le numéro atomique.

C) Synthèse

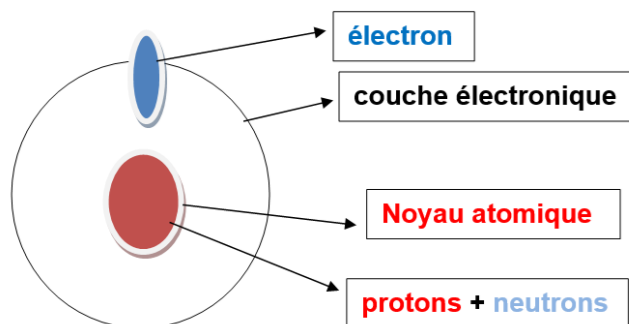
REPONSES

(1) Citez les parties de l'atome ?

(2) Que contient le noyau ?

- Le noyau atomique
- L'électron
- La couche électronique
- Le noyau contient
- Les **protons** et
- Les **neutrons** au même nombre que les **électrons**

(3) Dessinez l’atome et nommez ses parties ?



- Noyau atomique, contenant les protons et les neutrons
- électron
- Couche électronique

6 RÉSULTATS ATTENDUS

Voici les tableaux finals

Planche n01, n02, n03 et n04, qui comportent toutes les écritures (représentant et) dessinant les différentes parties de l’atome à savoir:

(1) Les parties de l’atome:

- Le noyau atomique
- L’électron
- La couche électronique

(2) Le noyau contenant:

- Le noyau contient
- Les **protons** et
- Les **neutrons** au même nombre que les **électrons**

En tenant compte des couleurs respectifs de chaque partie de l’atome à savoir:

Le **noyau** est toujours en **rouge**

La couche électronique en noir

L’électron en bleu

7 CONCLUSION

De ce qui précède nous affirmons que: oui, les jeunes enfants réussissent à dessiner l’atome

Citer ses parties et dire ce que contient le noyau et leurs nombres, dans leurs cahiers ou sur une feuille de papier.

Donc chaque enfant aura au moins trois Bics:

- Le Bic bleu
- Le Bic rouge
- Le Bic noir

1. En plus, le même dira que le noyau atomique ou le noyau de l’atome contient les protons et les neutrons.
2. Dans quel nombre ?

Réponse:

- S'il y a un électron, le noyau aura aussi un proton et un neutron
- S'il y a deux électrons, le noyau aura aussi deux protons et deux neutrons.

Donc le nombre des protons dépend du nombre des électrons

Autant d'électrons autant de protons dans le noyau

Les électrons sont mis en évidence dans toutes les notions sur l'atome avec les tous petits.

REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier l'éternel Dieu tout puissant qui nous a accordé le souffle de vie. Et toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la rédaction de cet article. Nos remerciements s'adressent particulièrement à tous les enseignants (es) du primaire et de la maternelle de trois communes éducationnelles suivantes: Ngaliema, n'sele et Gombe ainsi qu'à leurs inspecteurs (trices) qui nous ont aidés dans la réalisation de cette tâche d'expérimentation didactique de la chimie en primaire et maternelle. Nous remercions vivement les professeurs d'universités kapenga kasongo Jean-Jacques, Malongo n'kodia Nkutu Pierre, Mukendi Wa Mpoyi Pierre, Makindu kizibisha Darius, Indenge Y'Essambalaka Joseph, Pongi Nzita Kinkela Jérôme pour leurs orientations

Dans le même registre, nous ne saurions passer sous silence les talents du chef de travaux Mbiyavanga Makindu Joseph de la faculté des sciences de l'éducation de l'Université Pédagogique Nationale, pour sa contribution à l'encadrement et l'orientation qu'il nous a fait bénéficier tout au long de notre thèse. Ainsi que l'assistant Likotelo Binene Camile du département de mathématique- informatique dans la même Université.

REFERENCES

- [1] ASTOLFI, J.-P. L'école pour apprendre, ESF, Paris, 1992.
- [2] BANDZUCK C., BELISLE L., & VALIQUETTE P., Odyssée, sciences physiques, ERPI, Montréal, 1991.
- [3] BERTRAND Y., Théories contemporaines de l'éducation, Chronique sociale (Lyon) et Éditions nouvelles (Montréal), 1983.
- [4] BIHOUIX P. et De GUILLEBON B., Quel avenir pour les métaux ? Raréfaction des métaux: un nouveau défi pour la société, EDP Sciences, 2002.
- [5] BONTEMPS G. (1971), Chimie 3, éditions Didier, Bruxelles, Montréal, Paris.
- [6] BRETON-GRAVEREAU S. et THIBAUT D., L'aventure des écritures: matières et formes, éd. Bibliothèque nationale de France, 1998.
- [7] BUTTERLIN, P., Les Temps proto-urbains de Mésopotamie: contacts et acculturation à l'époque d'Uruk au Moyen-Orient, Paris, 2003.
- [8] CALVET L.-J., Histoire de l'écriture, Hachette, 1998.
- [9] CHIGNIER J., Les systèmes d'écriture: un savoir sur le monde, un savoir sur la langue, éd. Centre régional de documentation pédagogique, 1990.
- [10] CHRISTIN A.-M., Histoire de l'écriture, de l'idéogramme au Multimédia, Flammarion, 2001, traduction anglaise 2002, Édition arabe Bibliotheca Alexandrina, 2005, 432 pages (400 Illustrations).
- [11] COHEN, M. et PEIGNOT, J., Histoire et art de l'écriture, Bouquins, Robert Laffont, 2005.
- [12] COMENIUS, La Grande Didactique. Traité universel D'enseigner tout à tous (1657), trad., KLINCKSIECK, coll. «Philosophie de l'éducation», 2002.
- [13] DE CORTE E. & Cie, Les fondements de l'action didactique, Bruxelles, A. De Boeck, 1979.
- [14] DE LANDSHEERE, G. Evaluation continue et examens, Précis de docimologie, Paris, Bruxelles, Nathan – Labor, 1971.
- [15] DE LANDSHEERE G., Introduction à la recherche en Education, G. THONE, 1982.
- [16] EL KHISHEN R., ZEITUNLIAN M., DIYA H., EL GHOU, Chimie, 9^e année, Education de base, CRDP, Liban, 2011.
- [17] EMSLEY, J., Les éléments chimiques, Paris, Polytechnica, 1993.
- [18] FEVRIER J., Histoire de l'écriture, éd. Payot, 1995.
- [19] GLASSNER, J.-J., Écrire à Sumer: l'invention du cunéiforme, Seuil, 2001.
- [20] KAMBAYI BWATSHIA, *Pour la pédagogie de la recherche Scientifique en sciences humaines*, Centre de Recherche EUGEMONIA/CRID-UPN, Kinshasa, 2005.
- [21] LEICKMAN B. et ZIEGLER C., Naissance de l'écriture, cunéiformes et hiéroglyphes, Éditions de la Réunion des musées nationaux, Paris, 1995.

- [22] MINDER M., Didactique fonctionnelle, Objectifs, Stratégies, Evaluation, A. De Boeck Université, Paris, Bruxelles, 1996.
- [23] NGONGO DISASHI R., Bases scientifiques de l’Inspection, Module de formation, UNESCO –PASE, 2008.
- [24] NGONGO DISASHI R., Evaluation de l’Enseignement et de l’apprentissage, Module de Formation, UNESCO – PASE, Kinshasa, 2008.
- [25] NGONGO DISASHI R., Observation des classes: Module de Formation, UNESCO – PASE, 2008.
- [26] NISSEN, H.J., DAMEROW, P. et ENGLUND, R.K., ArchaicBookkeeping, Chicago, 1993.
- [27] PIAGET J., La naissance de l’intelligence chez l’enfant, Paris, Delachaux et Niestlé, 1936.
- [28] Programme national de l’enseignement primaire, UNESCO – EPSP, 2005.
- [29] ROEGIER X., L’A.P.C. Qu’est-ce que c’est?, EDICEF, 2006.
- [30] SONGA MUNYAKA G., Définition des objectifs pédagogiques, exposé inédit, Kinshasa, 2000.
- [31] REUNIER, A., Concevoir un plan de formation, IPNETP, CRAC, 1992.
- [32] VIERS R., Langues et écritures de la Méditerranée, Actes du forum des 9, 10 et 11 mars 2001, Maison du Séminaire, Nice, 2007, pp. 37-50.
- [33] LE BRUN, A. et VALLAT F., Les débuts de l’écriture à Suse, dans Cahiers de la DAFI, 8, 1978.
- [34] Encyclopédie Moderne « Grandes inventions», Tome II, ILSC, Londres, S.A.
- [35] La BORDERIE R., Lexique de l’éducation, Nathan Université, 1998.
- [36] LUFT, R. Dictionnaire des corps purs simples de la chimie, Nantes, Cultures et Techniques, 1997.
- [37] RAYNAL F., RIEUNIER A., Pédagogie. Dictionnaire des concepts clés, ESF, 2007.
- [38] http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tableau_périodique_des_éléments&oldid=91722074», consulté le 18 octobre 2022.
- [39] <http://site.ifrance.com/okapi/chimie.htm>, consulté le 19 aout 2022.

