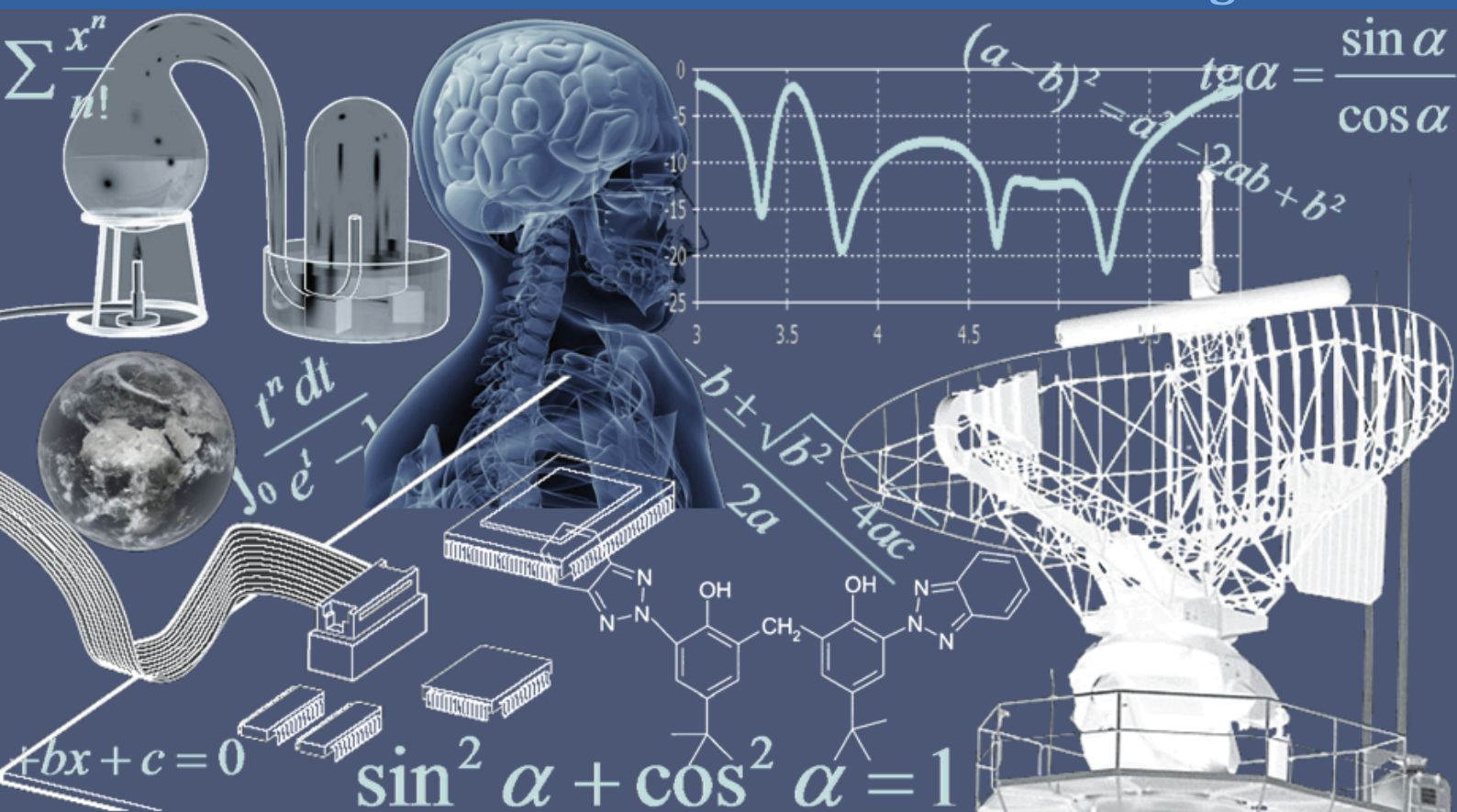


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 24 N. 1 August 2018



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
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 Jula, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt
Munir Ahmed G. Timol, Veer Narmad South Gujarat University, India

Table of Contents

Augmenter le coefficient de Strickler par la technique de réduction de la traînée dans les écoulements à surface libre	1-8
<i><u>Walid Bouchenafa, Arnaud Lefevre, and Bernard Quillien</u></i>	
The Application of Vertical Electrical Sounding (VES) for the hydrogeological and Geophysical Investigations in Kibumba Area, DR Congo	9-16
<i><u>Byamungu Mayange, Ngenzebuhoro Claver, Kiro Kubuya, and Guy SHUNGU LAMA</u></i>	
Algoritmos de agrupación difusos	17-30
<i><u>Gary Reyes Zambrano and Christopher Crespo León</u></i>	
Sédimentologie et paléogéographie du Lias et Dogger de la cuvette d'Ouanina, Haut Atlas Occidental, Maroc	31-58
<i><u>Fatiha HADACH, Ahmed Algouti, and Abdellah Algouti</u></i>	
CONCEPT STRUCTURAL ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS NEOPROTEROZOIQUES DU GROUPE DE DIPETA : CAS DU GISEMENT DE KABULUNGU, KATANGA, RDC	59-67
<i><u>NGOY KAZADI UMPUNGU and Albert KALAU</u></i>	
Interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques et contribution à l'étude structurale d'un bassin sédimentaire présentant un intérêt pétrolier majeur : Cas du sous-bassin de Busira dans la Cuvette Centrale de la RDC	68-88
<i><u>Tondozi Keto, Eli Achille Manwana Mfumukani, Joseph Ntibahanana Munezero, Mpaka Mananga, Fulgence Mulopo Shinginyeka, Jean Felix Mupande Kapwa, Ndiadia Kandolo, and Mukandila Ngulula</u></i>	
Evaluation of the insecticidal effect of the extracts of six plants (Maesa lanceolata, Solanum syzybrifolium, Annona squamosa, Cymbopogon citratus, Ocimum basilicum and Ocimum gratissimum) contre les Sitophilus	89-95
<i><u>Karl TSHIMENGA, Daudet Mbabu, Jean Kayolo, Alfred Mukuna, and Jean-Noël MPUUTU KANYINDA</u></i>	
L'impact du Greenwashing sur la satisfaction verte des clients, la qualité perçue verte des produits ainsi que le bouche à oreille vert	96-108
<i><u>Badr Kharifi, Kaoutar Berrada, and Fatiha Advoubah</u></i>	
Simulation of an Intranet-Based Module Gnuplot	109-116
<i><u>Ayedh Abdulaziz Mohsen, Nashwan Ahmed Al-Majmar, and Khaled M. Alalayah</u></i>	
La chaîne volcanique du Moyen Atlas au Maroc: Patrimoine géologique encore peu connu	117-129
<i><u>Aâtika EDDIF, Hassane OUAZZANI, Idris SADKAOU, Amina TAJDI, Ahmed AGHBAL, and Ahmed HAMID</u></i>	
Etude d'impacts environnementaux des décharges publiques non contrôlées, par l'expression des descripteurs du système de management intégré, Qualité-Sécurité-Environnement: Cas de la décharge publique de la ville de Taza (Maroc)	130-146
<i><u>Abdelouahab Zalaghi, Fatima Lamchouri, and Hamid TOUFIK</u></i>	
The Role of Interior Design for Enhancing Positive Emotions within The House	147-161
<i><u>Amany Mashour Hendy and Nehal Nabil Zahra</u></i>	
Linguistic justice in Moroccan society: The concept, ways of development	162-166
<i><u>Abdelilah Ftaich and Nadia El Omari</u></i>	
Les effets macroéconomiques de la chute des cours des produits de base: Evaluation sur la République démocratique du Congo	167-180
<i><u>Christian P. Pinshi</u></i>	
Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution d'un écosystème aquatique: La rivière Sô et son bassin versant (Sud Benin, Afrique de l'Ouest)	181-195
<i><u>Tohazin Florence, F. Avahounlin Ringo, and Expédit W. VISSIN</u></i>	
Cartographie lithostructurale des formations birimiennes par les méthodes magnétique et spectrométrique à rayonnement gamma du secteur d'Anikro (Centre de la Côte d'Ivoire)	196-207
<i><u>KOUAME Loukou Nicolas, N'DEPO Yanick Herman, KOUAKOU Kouassi Eric Germain, DJROH Simon Pierre, and SOMBO Boko Célestin</u></i>	
Study of a micro-grid with renewable energy sources with hydrogen storage	208-219
<i><u>Said Mohamed MARIAMA, Angel SCIPIONI, and Bernard DAVAT</u></i>	

VALEURS PASTORALES ET PRODUCTIVITÉS INTER-DÉCENNALE DES PARCOURS DE LA VALLÉE DE GOULBI N'KABA AU NIGER	220-239
<i>M. Hamissou ILLO SOULEY, Issa Chaibou, I. Soumana, Abdou LAQUALI, Ali Mahamane, and Maxime Banoïn</i>	
L'IMPACT DU PETROLE DANS LES RELATIONS NORD SUD: CAS DE L'INTERVENTION DE L'OTAN EN LIBYE	240-246
<i>Jean-Paul NAWÉJI MUSENDEKA</i>	
Intérêt de l'imagerie dans le diagnostic précoce d'un colobome chorio-rétinien unilatéral	247-250
<i>Fatima El Ibrahim, Merieme Oudbib, Tahar Baddou, Zakariae Jebbar, Aouatif Masmoudi, Amine Kouishahi, Bahia Ouazzani, and Amina Berraho</i>	
OEDEME VULVAIRE MASSIF ET GROSSESSE : A PROPOS DE DEUX CAS	251-254
<i>M. HOUSSA, M. ACHBBAK, K. FICHTALI, M. BENHASSOU, and Said Bouhya</i>	
Utilisation des plantes insecticides dans la lutte contre la mouche de haricot commun (Genre: Ophiomyia) à l'Est de la République Démocratique du Congo	255-268
<i>Oswald Koleramungu Cimanuka, Telesphore MIRINDI CIRHUZA, N. Rudahaba, Jean Louis BAHIZIRE KAYEYE, Y.M. Amani, J. Ntamwira, B. Bukomarhe, E. Mongana, B. Tuombemungu, Munganga wa Muhwanjo, and N. R. Kijana</i>	
BIOSURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE DES EAUX DE L'OUED OUISLANE (MEKNES, MAROC)	269-288
<i>Lahcen KARROUCH, Abdelkader CHAHLAOUI, and Adil ESSAHLE</i>	
EFFECT OF AUDIT COMMITTEE CHARACTERISTICS ON PERFORMANCE OF NON-FINANCIAL FIRMS: EVIDENCE FROM A RECESSED ECONOMY	289-298
<i>HOPE JFEOMA ORJINTA and IKUEZE NKEM EVELYN</i>	
Etude Structurale des formations de l'Ouest du lac Tanganyika (cas de Kavimvira, RD Congo)	299-310
<i>Guy SHUNGU LAMA</i>	
Historical research of Twentieth century fashion through designing a specialist website	311-329
<i>Olfat Shawki Mohamed Mansour</i>	
Caractérisation granulométrique de dépôts sableux des rivières de la région de Kinshasa	330-347
<i>Jean-René B. KABAMBA, Charles K. MPIANA, Valentin N. KANDA, and Anselme B. MAVAMBOU</i>	
La Corne de l'Afrique: Au cœur des enjeux géostratégique et géopolitique de la Chine à l'ère de la mondialisation	348-358
<i>OTSHUDI SHOTSHA Augustin, Utshudi Lotemo Paul, Kanyangala Kampela Trésor, and Dikomo Mudiaseke Louise</i>	
Acute toxicity's survey of the MISCA-MATÈS soap	359-367
<i>THES Pehie Marie Epse SOUMAHORO, OUATTARA Sitapha, KPOROU Kouassi Elisée, KRA Adou Koffi Mathieu, and Djaman Allico Joseph</i>	
Teneur en eau du sol et diversité floristique sous plantations d'Eucalyptus saligna Smith (Myrtaceae) à l'Ouest Cameroun	368-378
<i>Lucie Félicité TEMGOUA, Marie Caroline MOMO SOLEFACK, Rodine TCHIOFO, and Isaac Blaise DJOKO</i>	
Peuplement et diversité biologique des crevettes du cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire)	379-388
<i>Toto Kouamé, Gouli Gooré Bi, Claver Kémomadjèhi Djiriéoulou, Gervais Konan N'ZI, and Dit Hervis Franck Gnonleba Boguhé</i>	
Essential oils of <i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf, <i>Cymbopogon nardus</i> L. and <i>Citrus</i> sp: Insecticidal activity on the Pink Bollworm <i>Pectinophora gossypiella</i> Saunders (Lepidoptera; Gelechiidae) and prospects for cotton pest management in Côte d'Ivoire	389-397
<i>Koffi Christophe KOBENAN, Germain Elisabeth Cynthia OCHOU, Malanno KOUAKOU, Acka Emmanuel DICK, and Ochou Germain OCHOU</i>	
The impact of intra-industry trade between China and the Arab countries on economic growth	398-415
<i>Souquir Afef</i>	
Apport de la pédologie et de la géomorphologie à la planification écologique des écosystèmes de Kimpolo I et ses environs (République Démocratique du Congo)	416-427
<i>Xavier MBUTABUBA NKURA, Constantin Lubini Ayingweu, and Paul MAFUKA MBEMPIE</i>	
Synthèse géologique et métallogénique du gisement aurifère d'Iourirne (Bouttonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc)	428-438
<i>Mohamed Benbrahim, Mohamed AISSA, and Mohamed ZOUHAIR</i>	

Augmenter le coefficient de Strickler par la technique de réduction de la traînée dans les écoulements à surface libre

[Increasing Strickler coefficient by the drag reduction technique in open-channel flows]

Walid Bouchenafa, Arnaud Lefevre, and Bernard Quillien

SNF SAS, ZAC de Milieux, Rue Adriene Bolland, 42160. Andrézieux-Bouthéon, France

Copyright © 2018 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 drag reduction method by polymer additives is generally used to reduce friction losses in pipes over long-distances. The interactions between the polymer and the turbulent flow structures tend to change the velocity profile close to the walls by adding an elastic sub-layer between the viscous layer and the logarithmic zone of the boundary layer. This new sub-layer prevents the destabilization of the boundary layer. The gain in linear head losses can reach up to 80%, depending on the roughness of the walls and the concentration of the polymers. The application of this technique to sewer networks and the considerable effect on the reduction of water depth led us to study experimentally the drag reduction in an open-channel flows. Two measurement campaigns are performed on a laboratory flume for different discharges and several polymer concentrations. The surface flow velocities are measured by the LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) technique before and after the polymer injection. Backwater curves will be represented for smooth and rough flume walls. The addition of polymers even at low concentrations causes a sharp reduction in friction with a Strickler coefficient increased to 45% and 37% respectively for smooth and rough wall configurations and a decrease in water depth up to 17%. The drag reduction method by adding polymers seems to be a promising technique for limiting freshet levels and controlling river floods.

KEYWORDS: Uniform flow, friction, polymers, flood, boundary layer, LSPIV, flood risk.

RESUME: La technique de réduction de la traînée par l'ajout des polymères est généralement appliquée pour réduire les frottements dans les écoulements en charge à grande distance. Les interactions entre le polymère et les structures turbulentes de l'écoulement ont tendance de modifier le profil de vitesse à proximité de la paroi par la mise en place d'une sous couche élastique entre la couche visqueuse et la zone logarithmique de la couche limite. Cette nouvelle sous couche empêche la déstabilisation de la couche limite. Le gain en perte de charge linéaire peut atteindre jusqu'à 80 % en fonction de la rugosité des parois et la concentration des polymères. L'application de cette technique dans un réseau d'assainissement et l'effet considérable sur la diminution de la hauteur d'eau nous a conduit à étudier expérimentalement la réduction de la traînée dans un canal à ciel- ouvert. Deux campagnes de mesures sont effectuées sur un canal en laboratoire pour différents débits d'écoulement et plusieurs concentrations des polymères. Les vitesses de surface de l'écoulement sont mesurées par la technique LSPIV avant et après l'injection des polymères. Les profils de hauteur d'eau seront représentés pour les parois en mode lisses et rugueuse. L'ajout des polymères même à des faibles concentrations provoque une forte diminution de frottement, avec un coefficient de Strickler augmenté à 45 % et 35% respectivement pour les configurations des parois en mode lisse et rugueuse et une baisse de niveau d'écoulement jusqu'au 17 %. La méthode de réduction de la traînée par l'addition des polymères semble finalement être une technique prometteuse pour limiter l'impact des inondations des rivières.

MOTS-CLEFS : écoulement uniforme, frottement, polymères, risque d'inondation, crue, polyacrylamide, couche limite, LSPIV.

1 INTRODUCTION

Découverte par Toms en 1948 [1], la méthode de réduction de la traînée par l'ajout des polymères est une stratégie utilisée pour minimiser les frottements dans les écoulements en charge à grande distance. Les applications industrielles des polymères ont commencé dans les années 1970 et se développent régulièrement dans différents secteurs. Elles sont couramment utilisées dans les conduites d'oléoducs, les puits de pétrole, la lutte contre les incendies, l'irrigation, les réseaux d'assainissement, les systèmes de chauffage et de refroidissement d'eau, les systèmes marins et l'aéronautique [2].

Pour un écoulement développé dans un canal lisse, les polymères modifient les profils de vitesse dans la couche limite, pour un écoulement de l'eau claire, les profils de vitesse à proximité de la paroi sont composés d'une sous couche visqueuse laminaire très proche de la paroi ($\gamma u^*/\nu < 10$ avec γ est la hauteur des aspérités, u^* la vitesse de cisaillement et ν est la viscosité cinématique du liquide) et d'une couche logarithmique un peu plus loin ($\gamma u^*/\nu > 50$). Pendant l'ajout des polymères, une sous couche élastique se place entre les deux zones auquel le profil de vitesse suit une loi logarithmique avec une pente liée à la concentration des polymères [3]. Il est noté que lorsque l'extension de cette couche augmente, l'efficacité de la réduction de la traînée augmente également [4], [5].

La référence [6] a également étudié la possibilité des polymères à réduire la traînée sur les surfaces rugueuses. Les résultats montrent que la rugosité de la paroi tend à diminuer le processus de la réduction de la traînée. Dans ce cas-là, l'auteur a proposé des relations entre la réduction de la traînée, la rugosité relative du canal, le débit d'écoulement et les paramètres polymériques. Pour établir ses relations, un coefficient de rugosité relative k_s^+ a été utilisé tel que, $k_s^+ = k_s u^*/\nu$. Le coefficient k_s correspond à la rugosité du sable. Les expériences ont montré que l'effet de la rugosité de la paroi commence à être efficace pour $k_s^+ > 12$ pour un mélange eau - polymère, (comparé à $k_s^+ > 5$ dans l'eau pure). Ceci confirme que l'extension de la sous-couche visqueuse augmente lors de l'ajout de polymères. Ensuite, pour $12 < k_s^+ < 50$ un régime effectivement lisse est observé, et pour $k_s^+ > 50$ la réduction de la traînée diminue par rapport au régime lisse jusqu'à la limite expérimentale de $k_s^+ \sim 150$.

Les interactions entre les polymères et les structures turbulentes de l'écoulement restent mal comprises et les recherches sur ce sujet se poursuivent. La référence [7] a montré que les polymères permettent de diminuer le taux de cisaillement turbulent dans la sous couche élastique, de sorte que la contrainte totale diminue également. Une hypothèse stipule que des agrégats de polymères de taille comparable à la structure turbulente peuvent limiter l'existence de ces structures turbulentes et limiter donc l'intensité turbulente globale. La référence [8] a décrit le mécanisme de ces réducteurs dont les polymères dans la région plus proche de la paroi stockent l'énergie élastique prélevée dans l'écoulement et la libèrent plus loin de la paroi lorsqu'ils sont transportés vers la couche intermédiaire par des structures turbulentes cohérentes.

La plupart des travaux cités ci-dessus rapportent l'utilisation des polymères comme réducteurs de la traînée dans les conduites en charge sous pressions. Néanmoins, quelques essais ont également eu lieu pour les écoulements à surface libre en particulier dans les réseaux d'assainissement [9]. La référence [10] a étudié l'utilisation des polymères afin d'éviter le débordement du réseau d'assainissement de Whistler (Canada) pendant les Jeux Olympiques d'hiver en 2010 où les écoulements usés ont fortement augmenté en raison d'une population particulièrement élevée dans la région. Les essais ont montré une augmentation de 30 % de la vitesse d'écoulement et une réduction de 20 % de hauteur d'eau.

Il est à noter que l'utilisation des polymères dans les écoulements urbains s'est rendue possible selon la fiche de données de sécurité pour les polymères anionique qui indique que ces produits chimiques ne sont pas toxiques pour des concentrations à dosages limitées [10], [11], [12].

En dehors de ces applications d'ingénierie dans le réseau d'assainissement, très peu d'attention semble avoir été consacrée à la réduction de la traînée dans les écoulements à surface libre. La référence [13] a étudié l'effet de l'ajout des polymères en cas de rupture de barrage dans un canal à lit sec et humide. Les résultats confirment les constatations de [14] selon lesquelles la réduction de la traînée n'est efficace que si la turbulence est forcée par une couche limite lisse. La présence de cette couche de quelques millimètres d'épaisseur dans le canal a effectivement détruit la réduction de la traînée en utilisant une très petite quantité de polymères. Leurs résultats ont montré aussi que la réduction du frottement par les polymères est forte lorsque l'écoulement est établi sur une paroi lisse. À l'opposé, cette réduction est moins efficace lorsque la turbulence est fortement hétérogène, notamment lors de la présence de déferlement, ressaut, bulles...etc.

En conclusion, même si la technique de la réduction de la traînée par l'ajout des polymères est souvent utilisée pour les écoulements en charge, très peu des travaux ont été réalisés sur l'étude des additifs réducteur de la traînée pour les écoulements à surface libre. Le but du présent travail est donc de combler cette lacune et d'estimer l'efficacité de réduction de la traînée pour les écoulements dans un canal à ciel ouvert, avec différentes rugosités de la paroi.

Le dispositif expérimental est les techniques de mesure dans le canal sont présentés avec une description des concentrations des polymères testés. Ensuite, les caractéristiques d'écoulement (hauteur d'eau et champs de vitesse) sont mesurées avec et sans polymères et comparées les unes aux autres pour différentes rugosités de la paroi.

2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

SNF est une société leader pour la fabrication des polymères pour la réduction de la traînée, principalement utilisés pour l'extraction du pétrole et gaz. Les essais expérimentaux sont effectués au sein du laboratoire SNF sur un canal à ciel ouvert, en utilisant une eau claire d'une température comprise entre 20°C et 30°C. Les additifs sont des polymères de polyacrylamide solubles dans l'eau (PAM), couramment utilisés comme floculants dans les procédés du traînement d'eau (potable ou usée) comme décrit par [15]. Des études rhéologiques effectuées sur l'eau mélangé avec des concentrations faibles des polymères montre que ce mélange reste newtonien et que sa viscosité augmente d'environ 15% par rapport à l'eau pure [16].

Un canal rectangulaire est installé pour étudier l'effet de réduction de traînée pour les écoulements à surface libre dans différentes conditions. Le canal d'essai est lisse, fabriqué en pvc, d'une longueur de 435 m et d'une section rectangulaire de 12 cm de largeur, et 80 cm de hauteur, la pente est constante et de l'ordre de 0,011%. L'eau claire est pompée avant l'expérience et stockée dans un grand réservoir situé à l'entrée.

Un canal d'alimentation permet d'introduire l'eau directement dans le canal d'essai et de le mixer avec une concentration contrôlée de polymères en forme liquide avant l'arrivée au canal. Le débit est contrôlé et mesuré par un système d'alimentation en amont contenant une soupape et un débitmètre électromagnétique. À la sortie aval, l'écoulement est en chute libre et l'eau est évacuée en dehors du laboratoire. La hauteur d'eau et le débit d'écoulement sont mesurés sur différents point de mesure au long du canal.



Fig. 1. Canal d'essai. Laboratoire SNF

Les hauteurs d'eau sont mesurées à l'aide d'une sonde radar à ultrasons (Veagpuls 64). Le déplacement de la sonde ultrasons le long du canal permet de définir la ligne d'eau. Les vitesses en surface de l'écoulement sont mesurées par la méthode LSPIV (Large Scale Particule Image Velocimetry), une technique couramment utilisée pour les écoulements in situ (rivière, réseau urbain) et en laboratoires [17]. Deux états de rugosité ont été étudiés. Le premier cas correspond un fond et parois latérales lisses avec une rugosité absolue de 1,6 μm . Pour le deuxième cas, la rugosité du fond et des parois latérales a été modifiée sur le tronçon aval du canal. Nous calculons pour chaque essai, la vitesse de l'écoulement U , le nombre de Reynolds, le rayon hydraulique R_h et le coefficient de résistance à l'écoulement Strickler.

3 ESSAI AVEC PAROI LISSE

La réduction de la traînée par injection des polymères est évaluée tout d'abord dans un canal à paroi lisse. Cinq différents débits en amont sont proposés avec différentes concentrations contrôlées de polymères. Le coefficient de Strickler est calculé pour chaque débit en utilisant la formule d'Achour et Bedjaoui [18] tel que :

$$\eta = 4 R_h^{-1/6} \sqrt{2g} \log \left(\frac{\varepsilon}{14,8 R_h} + \frac{10,04}{R} \right)$$

Le coefficient de Strickler calculé varie en fonction de la rugosité absolue caractérisant l'état de la paroi du canal ε , le rayon hydraulique R_h et le nombre de Reynolds, lui-même en fonction de la pente i , de la largeur du canal l_i , de la hauteur d'eau et de la viscosité cinématique ν du liquide en écoulement. On peut exprimer le nombre de Reynolds en fonction du débit Q et de périmètre mouillée P par la relation :

$$R = \frac{4Q}{P \cdot \nu}$$

Les résultats de calcul pour les cinq différents débits testés avec un écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm (partie par million) de polymères sont récapitulé dans le tableau 1.

Tableau 1. Nombre de Reynolds et coefficient de Strickler calculés pour différents débits pour un écoulement sans et avec polymères

Débit d'écoulement $Q \text{ m}^3/\text{h}$	Eau claire			Eau avec polymères (20 PPM)		
	Hauteur d'eau - m-	Nombre de Reynolds	Coef de Strickler η	Hauteur d'eau -m-	Nombre de Reynolds	Coef de Strickler η
50	0,2	10×10^4	104	0,17	12×10^4	149
75	0,3	11×10^4	102	0,25	13×10^4	151
100	0,35	13×10^4	107	0,29	15×10^4	158
125	0,4	15×10^4	108	0,33	17×10^4	163
150	0,5	15×10^4	109	0,4	19×10^4	165

Pour un débit donné, la différence de hauteur d'eau pour un écoulement sans et avec polymères conduit à une différence très limitée de nombre de Reynolds, mais à une forte augmentation du coefficient de Strickler η d'environ 45 % pour chaque débit d'écoulement. De même la hauteur d'eau est réduite de 15% à 20 %.

La figure 3 présente le profil de hauteur d'eau pour un débit de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ sur le tronçon aval du canal de 100 mètres de longueur, pour un écoulement sans et avec quatre différentes concentrations des polymères. Cette figure confirme que, i) l'utilisation des polymères réduit la hauteur d'eau et en retour augmente la vitesse d'écoulement, ii) la réduction de la hauteur d'eau augmente avec la concentration croissante des polymères et iii) la réduction de la traînée n'augmente plus lorsque la concentration en polymère dépasse 20 ppm, en accord avec la valeur maximal (MDR) ou l'asymptote de Virk détaillée dans la littérature [19].

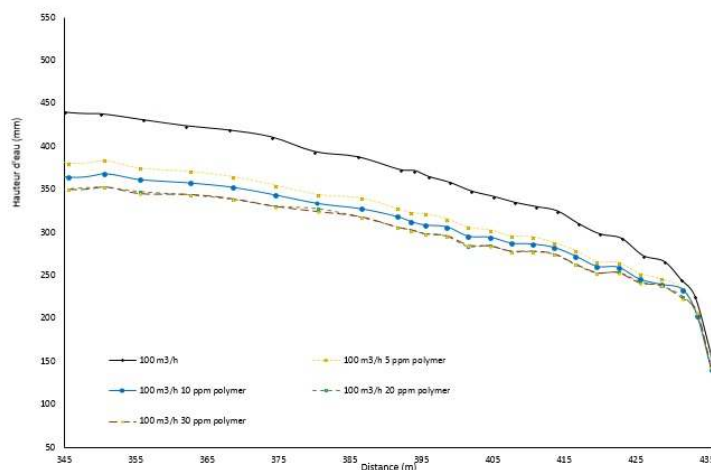


Fig. 2. Profil de hauteur d'eau mesuré pour un débit de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ avec différentes concentrations des polymères

La figure suivante présente le champ de vitesse mesuré par la technique LSPIV pour un débit d'écoulement de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ avec une concentration de 20 ppm de polymères.

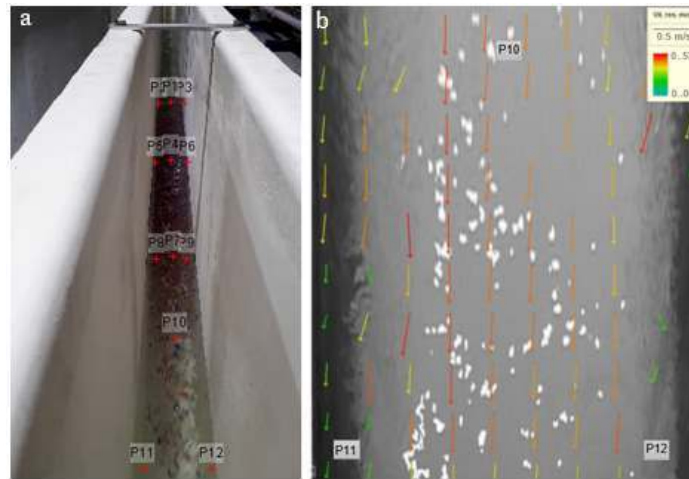


Fig. 3. Champs de vitesses pour 100 m³/h et 20ppm de polymères a) Ortho rectification du canal, b) champs de vitesses

Les vitesses d'écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm de polymères pour un débit de 100 m³/h sont illustrées dans la figure 4. La vitesse d'écoulement avec 20 ppm de polymères est supérieure à 30 % à celle de l'écoulement sans polymères.

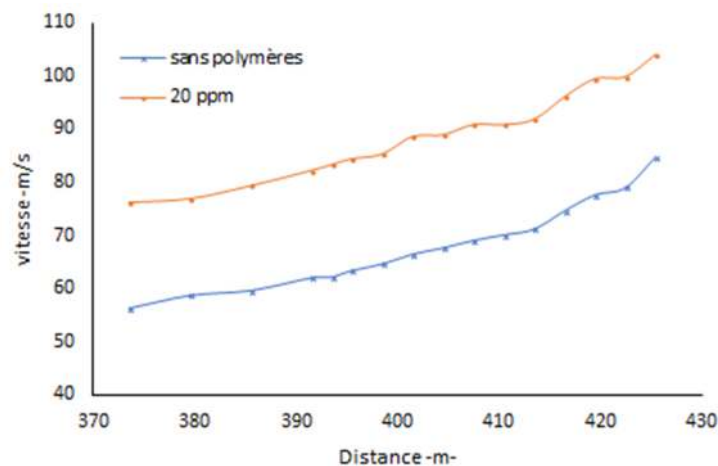


Fig. 4. Comparaison des vitesses d'écoulement sans et avec polymères pour une paroi lisse

En conclusion, le coefficient de résistance à l'écoulement de Strickler calculé lors de l'application de la technique de réduction de la traînée par l'ajout des polymères pour un écoulement dans un canal à ciel ouvert devient supérieur à celui d'une paroi parfaitement lisse.

4 ESSAI AVEC PAROI RUGUEUSE

Les essais précédents ont montré que les polymères permettent d'augmenter le coefficient de Strickler pour un canal à paroi lisse. Cette section a pour vocation d'évaluer la technique de réduction de la traînée pour un canal à paroi rugueuse. Une rugosité d'un tronçon de 30 mètres en aval du canal a été imposée par la mise en place d'une tôle larmée de 1 mm de rugosité. La largeur du canal est réduite à $l_2 = 11$ cm.

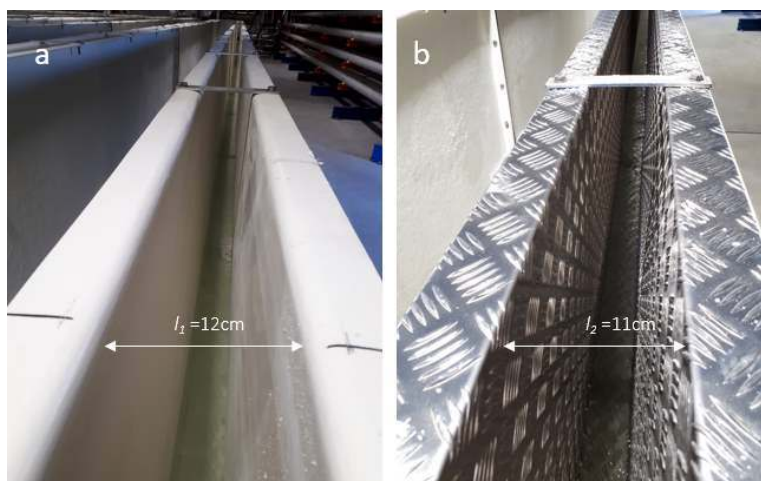


Fig. 5. Canal d'essai a) paroi lisse et b) paroi rugueuse

Les profils de hauteur d'eau mesurée pour un débit égale à 100 m³/h d'un écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm de polymères sont comparés dans la figure 6.

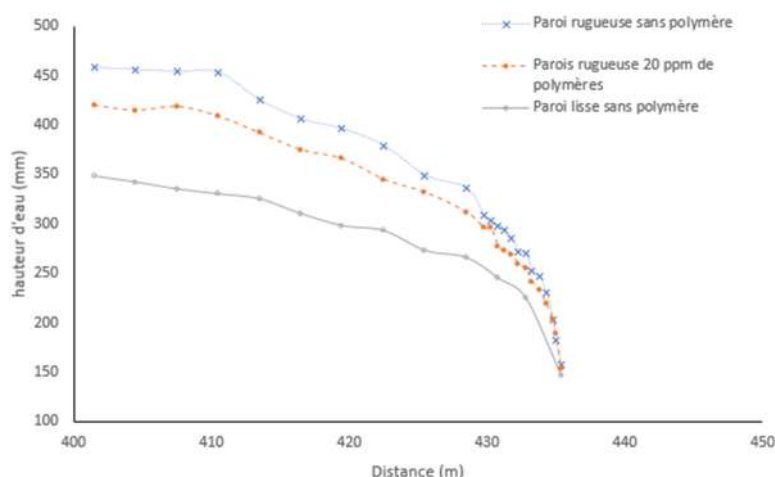


Fig. 6. Profils de hauteur d'eau pour différente rugosité pour un débit de 100 m³/h

Les résultats de calcul du coefficient de Strickler pour les différents débits testés avec un écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm (de polymères sont récapitulé dans le tableau 2.

Tableau 2. Coefficients de Strickler calculés pour différents débits pour un écoulement sans et avec polymères

Débit d'écoulement - m ³ /h-	Eau claire		Eau avec polymères (20 PPM)	
	Hauteur d'eau -m-	Coef de Strickler	Hauteur d'eau -m-	Coef de Strickler
50	0,17	42	0,14	57
75	0,26	44	0,22	59
100	0,3	46	0,26	60
125	0,35	47	0,30	62
150	0,43	47	0,36	62

Le coefficient de Strickler calculé pour la paroi rugueuse augmente de 35% par rapport à un écoulement de référence (sans polymères). Une faible diminution par rapport à la configuration lisse mais une réduction considérable de la traînée.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Les résultats des essais expérimentaux, effectués, ont permis de constater que l'ajout des polymères à l'eau diminue fortement la force de la traînée exercée par les parois sur l'écoulement, ce qui entraîne une augmentation de vitesse de l'écoulement et une diminution de hauteur d'eau. Le coefficient de résistance d'écoulement de Strickler η augmente environ 45% pour une paroi lisse et de 35% pour une paroi rugueuse. La réduction de la traînée demeure toujours efficace mais elle diminue avec l'augmentation de la rugosité.

La couche limite développée sur le fond du canal et autour des parois latérales contrôle les forces de résistances. La modification de cette couche par les polymères permet de changer la dynamique de l'écoulement et donc limiter les hauteurs d'eau et spécifiquement les débordements sur les berges. Cette méthode peut être utilisée comme une technique de protection contre les inondations des rivières.

Il existe des résultats satisfaisants et probants sur l'efficacité de la méthode de réduction de la traînée par l'ajout des polymères dans les réseaux d'assainissement [9]. Néanmoins, cette technique n'a jamais été testée à plus grande échelle pour les écoulements à surface libre comme les rivières. Afin d'évaluer son efficacité, des expériences similaires à celle décrites ici seront effectuées prochainement sur un cours d'eau de 30 km de longueur et d'un débit moyen de 12 m³/s [20].



Fig. 7. Photo du cours d'eau sélectionné pour l'essai. Tunja, Turquie

REFERENCES

- [1] B. A. Toms, "Some observation on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds number", *Proceedings of the First International Congress of Rheology*, vol. II, pp. 135-141, 1949.
- [2] W. Brostow, "Drag Reduction in Flow: Review of Applications, Mechanism and Prediction", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* vol. 14, no. 4, pp. 409-416, 2008.
- [3] F. Hadri, "Contribution à l'étude de la réduction de la traînée en écoulement turbulent d'une solution de CTAC", Thèse de doctorat, Université de Caen Basse Normandie, 600 p, 2008.
- [4] P. S. Virk, "Drag reduction fundamentals", *AIChE Journal*, vol 21, pp. 625-656, 1975.
[Online] Available: https://courses.physics.ucsd.edu/2018/Winter/physics116_216/Virk.pdf
- [5] W. H. Cai, F. C. Li, H. N. Zhang, X. B. Li, B. Yu, J. Wei, Y. Kawaguchi, K. Hishida, "Study on the characteristics of turbulent drag-reducing channel flow by particle image velocimetry combining with proper orthogonal decomposition analysis" *Physics of Fluids*, 21, 115103, 2009.
- [6] P. S. Virk, "Drag reduction in rough pipes", *Journal of Fluid Mechanics*, 45 (2), pp.225-246. 1971.
- [7] K. J. Harder and W.G. Tiederman, "Drag reduction and turbulent structure in two-dimensional channel flows", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 336, 1640, pp. 19-34.,1991.
- [8] T. Min, J. Y. Yoo, H. Choi, D.D. Joseph, "Drag reduction by polymer additives in a turbulent channel flow", *Journal of Fluid Mechanics*, 486, pp. 213-238, 2003.

- [9] R. H. J. Sellin R.H.J and M. Ollis, "Polymer Drag Reduction in Large Pipes and Sewers: Results of Recent Fields Trials", *Journal of Rheology*, 24, 667, 1980.
- [10] J. Hart, L. Cotter, V. Jason, "Polymer Addition to Increase Trunk Sewer Flow Capacity at the Resort Municipality of Whistler during the 2010 Winter Olympic Games", *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2011: session 88*, 12, pp. 5763-5774" 2011.
[Online] Available: https://www.kwl.ca/sites/default/files/WEF2011_JCH_Abstract.pdf.
- [11] A. G. Guezennec, C. Michel, K. Bru, S. Touze, N. Desroche, I. Mnif, M. Motelica -Heino, "Transfer and degradation of polyacrylamide -based flocculants in hydro systems", *Environmental Science and Pollution Research*, V. 22, 99. 6390-6406, 2015.
- [12] I. Mnif, "Devenir des flocculants à base de polyacrylamide dans un site de granulat: interactions avec les solides naturels et photodegradation", Thèse de doctorat, Université de Nice Siphia Antipolis, 2015.
[Online] Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01237278/document>.
- [13] I. M. Janosi, J. K Dominique, K. Gabor Szabo, T. Tel, "Turbulent drag reduction in dam-break flows", *Experiments in Fluids*, vol. 37, pp. 219 -229. 2004.
- [14] O. Cadot, "Turbulent drag reduction in a closed flow system: Boundary layer versus bulk effects", *Physics of Fluids*, vol. 10, pp. 426-436, 1998.
- [15] W. J. Han, Y. Z. Dong, H. J. C, "Applications of Water-Soluble Polymers in Turbulent Drag Reduction", *Processes*, 5, 24. 2017.
- [16] Y. Amarouchene, "Etude de l'interaction Polymère – Ecoulement", Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2002.
[Online] Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00003794/document>.
- [17] W. Bouchenafa, O. Boucher, N. Voyneau, P.Sergent, "Mesure des champs de vitesse et débit d'écoulement par la méthode LSPIV : application sur un modèle réduit d'une bouche de métro", *XIVèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*, Toulon, 29 juin au 1er juillet 2016.
[Online] Available: http://www.paralia.fr/jngcgc/14_37_bouchenafa.pdf.
- [18] B. Achour, A Bedjaoui, « Discussion. Exact solutions for Normal Depth Problem, by Prabatha K. Swamee and Pushpa N. Rathie, J. Hydraul. Res., Vol.44, n°5, pp.715-717, 2006.
- [19] G. Mompean, "Réduction de la traînée : injection de polymères pour l'économie d'énergie", *Sciences conferences*. 2018.
[Online] Available : https://jet2018.sciencesconf.org/data/program/Paper_JET_2018_Mompean_VF_1.pdf.
- [20] R. Pich, "Method for limiting freshet levels and controlling floods ", *Patent# WO 2014199037 A1.*, 2014.

The Application of Vertical Electrical Sounding (VES) for the hydrogeological and Geophysical Investigations in Kibumba Area, DR Congo

Byamungu Mayange^{1,3}, Ngenzebuhoro Claver², Kiro Kubuya³, and Shungu Lama⁴

¹College of Life and Environmental Sciences, Daegu University, South Korea

²Faculty of Sciences, Department of Earth Sciences, University of Burundi, Burundi

³Centre d'Expertise et d'Etude Géologique, CEEG, RD Congo

⁴Faculty of Sciences, Department of Geology, University of Goma, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A natural and instantaneous geophysical method for groundwater investigation in volcanic formations of Kibumba area has been developed. A geophysical evaluation using Electrical Resistivity method for groundwater investigation was carried out which involved the utilization of Vertical Electrical Sounding (VES) technique with Schlumberger array system. The study area is located within the igneous rocks, sedimentary, and metamorphic. The data acquired from twelve (12) VES stations using ABEM terrameter (SAS 1000) was tabulated in a table which shows the resistivity, the thicknesses and the number of layers for each VES station. The data was analysed using computer inversion software called INTERPEX1D, which yield an automatic interpretation of the apparent resistivity. The VES results revealed heterogeneous nature of the subsurface geological sequence. The geological profile sequence in the study area includes the topsoil (clay and fragments rocks and/or boulders formations of basalt), weathered layer (and/or fractured basalt) and fresh basement. The value for topsoil ranges from 10 Ω m to 1500 Ω m with thickness varies from 0.3 m to 10 m. The weathered layer (and/or fractured basalt) resistivity ranges from 100 Ω m to 2000 Ω m and thickness of 3 m to 20 m. The fresh basalt or bedrock basement ranges in value from 30 Ω m to 3000 Ω m with an unknown thickness due to the volcanic formation in the study area. However, the bedrock depth of all the VES stations from the earth's surface could range from 1 m to 34 m. Based on the result of VES data, the proper area for making boreholes would be VES Kibumba 2, VES Kibumba 5 and VES Kibumba 9.

KEYWORDS: Vertical Electrical Sounding (VES), Groundwater potential aquifers, topsoil, weathered layer, fractured basalt layer, fresh basalt.

1 INTRODUCTION

Groundwater exploration is becoming increasingly important for D.R.Congo due to an ever-increasing demand for water; especially in areas like Kibumba with absent or inadequate surface water supplies. Already, ten percent of the world's population is affected by chronic water scarcity and this is likely to rise to one-third by about 2025 (WHO, 1996).

The problem of gaining an adequate supply of quality water is generally becoming more severe effect due to ever increasing of population, irrigation and industrialization. Due to this situation, surface water cannot be dependable throughout the year; hence another alternative is needed in order to supplement for surface water. (Fadele et al., 2013). The first alternative opened to man is ground water, which may be defined as "water in the zone of saturation and from which wells, springs and underground runoff are supplied". This water is trapped by geological formations (Palacky et al., 1981).

The groundwater can be in the sedimentary terrain where it is less difficult to exploit or in the basement complex terrain in which it can be a bit difficult to locate especially in areas underlined by crystalline rocks (Fadele et al., 2013).

Hence, a systematic and scientific approach to the problem is therefore essential for the study area in order to overcome these problems. The quantity and disposition of ground water depends on the geological characteristics of the host rock formation. The search for ground water is faced with lots of uncertainties; to minimize or avoid failures altogether, it is pertinent that the right exploration techniques are utilized in the delineation of subsurface water-bearing formations (Coker et al., 2009).

Nowadays the used of geophysical techniques for groundwater exploration and water quality evaluations has increases due to rapid advances in computer software and other numerical modelling techniques. The use of Vertical Electrical Sounding has become very popular with groundwater prospecting due to simplicity of the technique. The purpose of electrical geophysical survey method is to detect the surface effects that produce by the flow of electric current inside the earth. This technique have been used in a wide range of geophysical investigations such as mineral exploration, archaeological investigation, engineering studies, geothermal exploration, permafrost mapping and geological mapping (Fadele et al., 2013).

This present research use the Electrical Resistivity Surveys with an instrument called ABEM (SAS 1000) terrameter which were taken using Schlumberger array. Hardianshah et al. (2013) carried out similar experiment to investigate the subsurface geology and aquifer potentials in the area of Dent Group sedimentary rock. 40 Vertical Electrical Sounding stations technique were performed by measuring the resistivity change with depth. The resistivity measurements were conducted using ABEM SAS 300C Terrameter by using Schlumberger electrode configuration with maximum current electrode separation of 500m. Interpreted VES data in the Sebahat formation produces three to four geo-electrical resistivity layers. Musa G. et al. (2014) also used vertical electrical sounding groundwater exploration in the crystalline rocks of Tudun Wada Kano State, Nigeria. Their study used Schlumberger arrangement in six (6) VES stations and the resultant data was analyzed using computer software (IPI2win) which gives an automatic interpretation of the apparent resistivity. Vertical Electrical Sounding has been put to effective use in many earlier groundwater studies and found to be extremely successful. In the present study, the Vertical Electrical Sounding using Schlumberger array were carried out at six (12) VES stations. The study used current electrode spacing of $1/2AB = 40$ m, in which the potential electrode separation MN has maintain its order of increment. The research was carried out to study the subsurface geology condition, the hydrogeological condition and the Geophysical condition of the Kibumba region with the following objectives: To identify the thickness, resistivity value of sub-surface layers; to determine the hydrological conditions of the area and to characterize the location and configuration of weathered basaltic bedrock units in hope to reach a formation which contains an aquifer with the chances of high yielding boreholes. This site is located in northern Goma town, along the second National Road (RN2), at almost 30 km from Goma town.

2 STUDY AREA

The study area located in Nyiragongo territory (Kibumba Region), North Kivu, Democratic Republic of Congo (DRC) or located at $1^{\circ}29'50.2''$ S latitude and $29^{\circ}20'38.4''$ E longitude. This territory covers a total area of 333 Km² with a population of 38,689 as for 2004 census and a density of 237 in Hab. /Km². The area experiences a tropical climate having rainy and dry seasons. A short dry season: from January to February; a great rainy season: from March to May; a great dry season: from June to August; and a short rainy season: from September to December. In spite of the alternation of these four seasons, the territory of Nyiragongo sometimes knew an irregularity of seasons. This situation was explained by its very high altitude, which made the rainy season extend more than 8 months a year. The mean annual rainfall is 1000 mm with a relative humidity ranges from 25-75% and the mean annual temperature varies from 21°C to 30°C.

This area is a mountainous region whose mountains would have risen to the tertiary as a result of a tectonic break giving rise to the horsts and Graben of the East African rift, its altitude varies between 1461 m in the South and 2000 m in the North. Nyiragongo territory belongs to the Virunga volcanic province. One of the particularities of the Virunga Volcanic Province is the NNE trend of. The rift in this province is most probably a half-graben with a marked normal fault on the western side and no clear normal bounding fault on the eastern side, with a series of 10-to 20-km-long high angle normal fault within a 10 to 15 Km wide zone (Ebinger, 1989). The Mio-Pliocene Virunga lava flow took place after an important tectonic phase responsible of many new structures; these flows are from passed by faults (Ilunga, 1991). The basement of Nyiragongo territory is Mesoproterozoic formations (kibaran belt) covered by the recent volcanic formations due to the activity of the Virunga Volcanic Province (VVP).

3 MATERIALS AND METHODS

The layout of a geo-electrical sounding setup showing the depth of investigation as a function of the geometry of the setup. Geophysical prospection comprises several techniques used in subsurface investigations. Among these techniques, geo-

electrical sounding (resistivity method) is the most commonly used method in groundwater investigations. Geo-electrical prospection, which consists of injecting the electric current into the subsoil by two electrodes, enables to detect less and most conductive layers. The resistivity of a geological material decreases substantially when the latter is impregnated with an electrically conductive fluid such as water. These electrically conductive areas are a priori more permeable: in an aquifer, there is a good correlation between the two parameters namely electrical properties and hydrodynamic parameters (Meylan, P., Favre, A.-C. and Musy, 2005). This method, therefore, allows determining quantitatively the distribution of thickness of layers of different electrical properties directly below a point and is implemented through four electrodes that the Geologist pushes into the ground with a hammer. The method consists of sending an electric current of known intensity into the ground through two current-injection electrodes, A and B, and to measure the difference of potential generated by the current intensity using two measuring electrodes M and N (Chouteau. & Giroux, 2008)

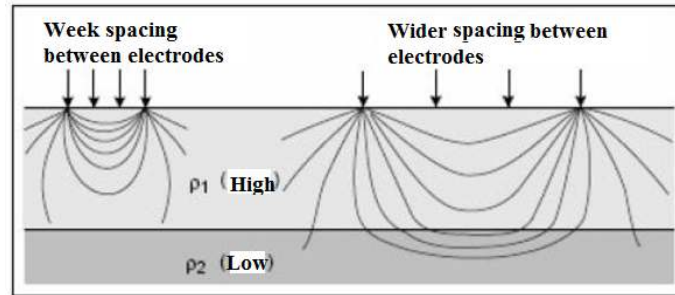


Fig. 1. Layout of a geo-electrical sounding setup showing the depth of investigation as a function of the geometry of the setup

There are 3 main types of setting up potential electrodes M, N and current electrodes A, B in geo-electrical survey, which give rise to three main types of configuration of the geophysical exploration setup by resistivity method. These configurations are: Schlumberger array, Wenner array and Dipole-Dipole array. This present research has used the SCHLUMBERGER array which is illustrated in the following figure:

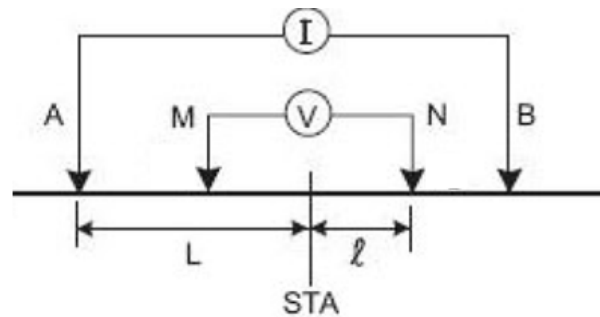


Fig. 2. Schlumberger array

AB: current electrodes

MN: potential electrodes

$$L = AB/2 \text{ et } l = MN/2$$

$$\rho_a = \pi \frac{(L^2 - l^2)}{2l} \frac{V}{I}$$

Where ρ_a = apparent resistivity, V = difference of potential and I = intensity of injected electrical current.

Given the fact that subsurface layers are generally heterogeneous, the measured resistivity is an apparent resistivity which is actually a sort of average of the resistivity of the different layers encountered within the volume of subsurface material practically concerned by the distribution of electrical current. Two interpretative models of the vertical electrical sounding data show H-type sounding curves (Reynolds, 1997) which reveal 3 geo-electricals layers of which the middle one is the least resistant (Wenner array). The presence of a layer of low resistivity sandwiched between two layers of high resistivity indicates

the presence of clay to sandy clay layer which partially confines the aquifer. The interpretation of geo-electrical soundings is done in comparison to different values of resistivity typical of main types of rocks (Table 1).

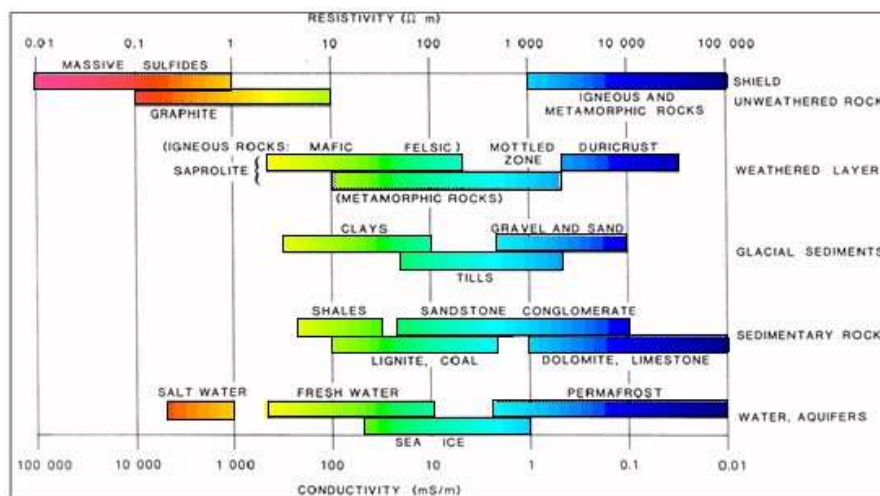


Table 1. Typical resistivity values of main rocks

4 RESULTS AND DISCUSSION

The geometric factor, K , was first calculated for all the electrode spacing using the relation; $K = \pi (L/2b - b/2)$, for Schlumberger configuration in which $MN=2b$ and $AB=L$. The results obtained were multiplied with the resistance values to obtain the apparent resistivity, ρ_a values. By the use of computer inversion software called INTERPEX1D in the present study, the result of apparent resistivity and electrode spacing was plotted in a log-log scale to obtain VES sounding curve.

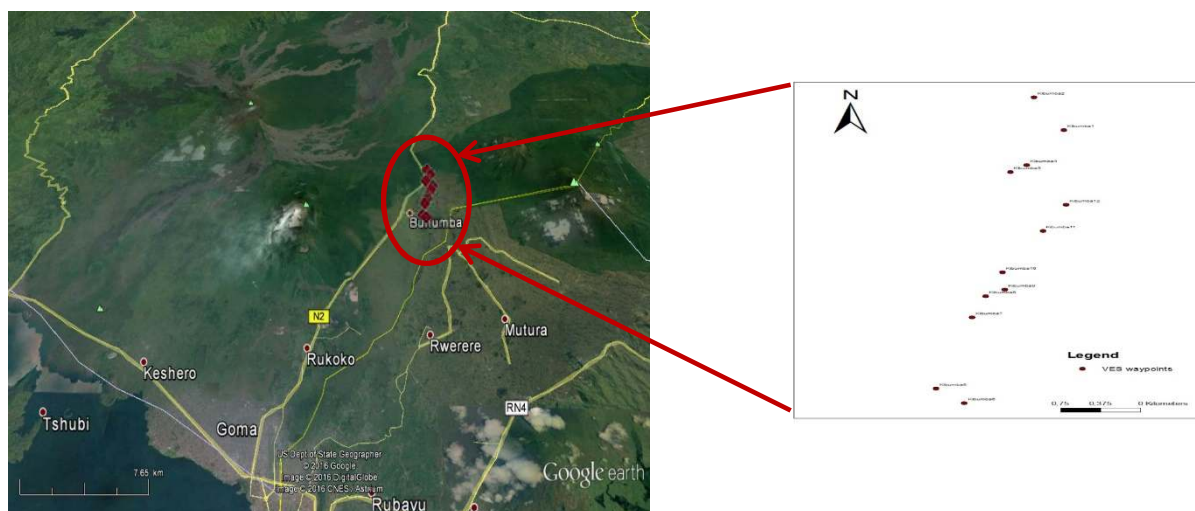


Fig. 3. Map showing the location of the VES surveys in Kibumba

All the sounding curves and their models are showing in Figure 6. The VES survey data collected from different sites are presented graphically and interpreted with their possible geological meanings and the apparent resistivity value in the Table 2, layer thickness and depth tabulated as follows:

The first layer or topsoil, composed of clay, fragments rocks and/or boulders formations of basalt and its value ranges from 10 Ω m to 1500 Ω m with thickness varies from 0.3 m to 10 m. The weathered layer and fractured basalt resistivity ranges from

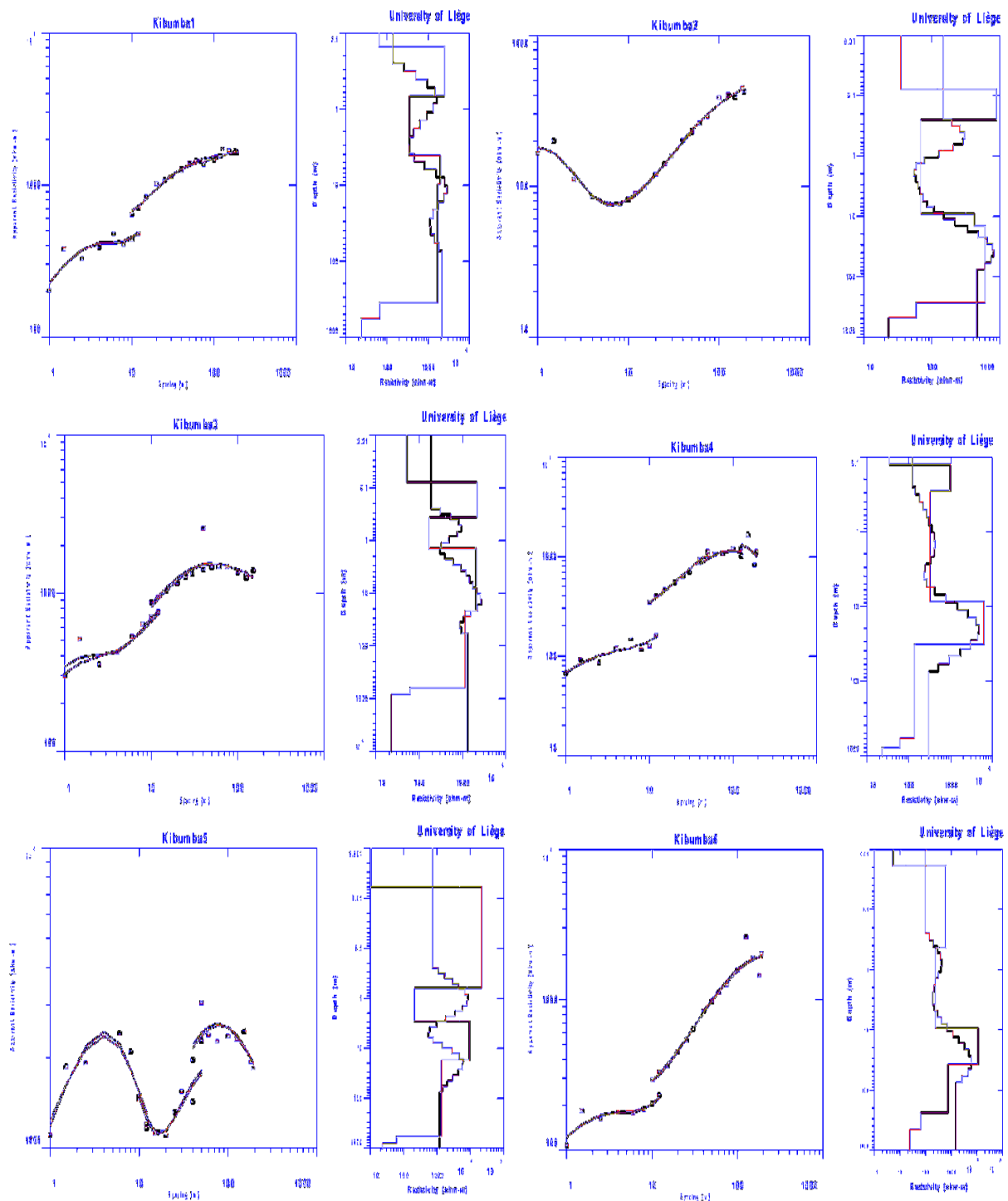
100 Ωm to 2000 Ωm and thickness of 3 m to 20 m. The fresh basalt or bedrock basement ranges in value from 30 Ωm to 3000 Ωm with an unknown thickness due to the volcanic formation in the region.

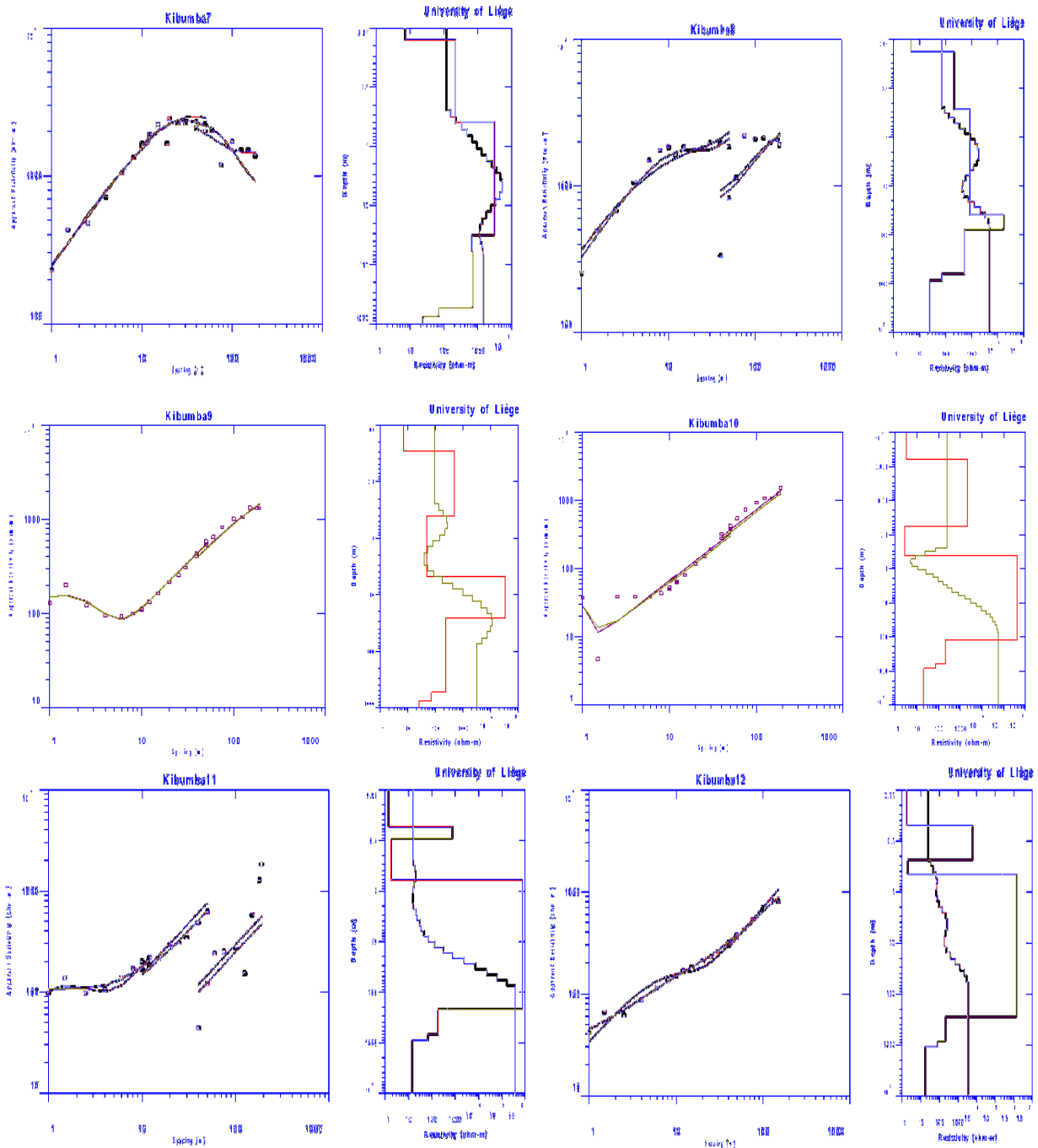
However, the bedrock depth of all the VES stations from the earth's surface could be range from 1 m to 34 m with a resistivity which move down infinitely.

Table 2. The results of the interpreted VES stations (1 to 12) of the study area are shown in the table below

VES stations	Layer Resistivity (Ωm)	Depth (m)	Number of layers and some explanation of the unknown layers
VES Kibumba 1:	30 to 3000 Ωm 3000 to 300 Ωm 300 and 2000 Ωm	0.8 m 4.2m unknown	3
VES Kibumba 2:	15 to 900 Ωm 900 to 70 Ωm 70 and 600 Ωm	0, 3 m 14.7 m unknown	3
VES Kibumba 3:	25 to 1500 Ωm 1500 to 1000 Ωm unknown	2 m Unknown Unknown	2
VES Kibumba 4:	20 to 300 Ωm 300 to 800 Ωm Unknown	10 m 20 m unknown	3
VES Kibumba 5:	0 to 20000 Ωm 20000 to 100 Ωm 1000 and 3000 Ωm	1 m 3 m unknown	3
VES Kibumba 6:	10 to 300 Ωm 300 to 3000 Ωm Unknown	10 m 20 m Unknown	3
VES Kibumba 7:	10 to 100 Ωm 100 to 2000 Ωm Unknown	0.5 m 20 m Unknown	3
VES Kibumbu 8:	it's very difficult to confirm the number of layers	Unknown	The points are scattered, which means that there is no result that can be interpreted to characterize the underground, there has been what is called noise (figure 6. VES Kibumbu 8)
VES Kibumba 9:	10 to 200 Ωm 200 to 30 Ωm 30 and 3000 Ωm	0.4 m 6.6 m unknown	3
VES Kibumba 10:	It shows that the sounding didn't reach a depth over 1 m		The explanation can be found in the figure 2 which shows the resistivity variation as a function of depth, called reverse model or inversion.
VES Kibumba 11:	Its shows a lot of noises since 40 m of spacing AB/2. The depth the sounding had reach is minus 1 m		sounding issues during the experiment
VES Kibumba 12:	The resistivity increases from the surface to depth but this depth investigated did not exceed 1 m.		Same as VES Kibumba 10

Fig. 4. The sounding curves and their models





5 CONCLUSION

The hydrogeological and geophysical investigations using electrical resistivity method were carried out with twelve (12) VES stations in Kibumba and have revealed that, seven (7) VES stations (VES Kibumba 1,2,4,5,6,7,9) have three layers mostly in the study area, while one (1) VES station (VES Kibumba 3) have two (2) layers, but the VES Kibumba 10 shows that the sounding didn't reach a depth over 1 m, the VES Kibumba 11 shows a lot of noises after 40 m of spacing AB/2 and the depth sounding had reach minus 1 m. Finally, on the VES Kibumba 12, the resistivity increases from the surface to depth but this depth investigated did not exceed 1 m. The geological sequence beneath the study area is composed of topsoil (clay, fragments rocks and/or boulders formations of basalt), weathered layer (and/or fractured basalt) and fresh basement. The fresh basalt or bedrock basement ranges in value from 30 Ω m to 3000 Ω m with an unknown thickness due to the volcanic formation in the study area. Based on the qualitative interpretation of the VES data, It has seen that the most likely stations to drill were VES Kibumba 2 in the north, VES Kibumba 5 in the south and VES Kibumba 9 in the central part of the study area, with appreciable thicknesses of the subsoil and characterized by structural features such as fractures which improve the permeability and

storage of groundwater. The analysis of this study was completed using also information about the local and regional geology and give an understanding of subsurface electrical properties of the region.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to the International Alert, Centre d'Expertise et d'Etude Géologique and Daegu University which supported their research. The first author is also grateful to NGENZEBUHHORO Pierre Claver (*Faculty of Sciences, Department of Earth Sciences, University of Burundi, Burundi*) for his assistance in the geophysical survey.

REFERENCES

- [1] Coker JO, Makinde V, Olowofela JA. Geophysical Investigation of Groundwater Potentials of Oke-Badan Estate, Ibadan, Southwestern, Nigeria. *Proceedings of 3rd International Conference on Science and National Development University of Agric. Abeokuta*, p. 119, 2009
- [2] Ebinger C. *Tectonic development of the western branch of the East African rift system*, Geol.Soc.Am.Bull, 101, 885-903, 1989.
- [3] Fadele,S.I, P.O. Sule and B.B.M. Dewu, The use of Vertical Electrical Sounding (VES) for Groundwater Exploration around Nigerian College of Aviation Technology (NCAT), Zaria, Kaduna State, Nigeria. *Pacific Journal of Science and Technology*. 14(1):549-555, 2013.
- [4] Giroux, B. & Chouteau, M.; A Hydrogeophysical Synthetic Model Generator. *Computers and Geosciences*, 34, 1080--1092, 2008.
- [5] Hardianshah Saleh and Abdul Rahim Samsudin, Application of Vertical Electrical Sounding (VES) in Subsurface Geological Investigation for Potential Aquifer in Lahad Datu, Sabah. *Journal of AIP Conference Proceedings*, vol. 1571, no. 1, pp. 432-437, 2013.
- [6] Ilunga Morphologie, volcanisme et Sédimentation dans le Rift du Sud Kivu, Bull.de la société géographique de Liège, 27, 209-228, 1991.
- [7] John M. Reynolds, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, ISBN 0-471-96802-1.-ISBN 0-471-95555-8 (pbk), 1997.
- [8] Musa G. et al. the Application of Vertical Electrical Sounding (VES) For Groundwater Exploration in Tudun Wada Kano State, Nigeria. *J Geol Geosci* 4:186. doi:10.4172/2329-6755.1000186, 2015
- [9] Meylan, P., Favre, A.-C. and Musy, A.. *Hydrologie Frequentielle : Une Science Predictive*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse. 2005
- [10] Palacky GJ, Ritsema IL, De Long SJ. Electromagnetic Prospecting for Groundwater in Precambrian Terrains in the Republic of Upper Volta. *Geophys. Prospect*, 29(3): 932–955, 1981.
- [11] WHO (World Health Organization). Guidelines for Drinking Water, Vol.1, Recommendation. Geneva Switzerland, 1996.

Algoritmos de agrupación difusos

[Fuzzy Clustering Algorithms]

Gary Reyes Zambrano¹ and Christopher Crespo²

¹Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

²Facultad de Ciencias Administrativas, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In recent years advances in technology have led to the generation of large volumes of data, mainly numerical data, highlighting the interest in processing them to extract knowledge and information from them. The main objective is to make more efficient the systems from which these data have been obtained and help in decision making. The information in a database is implicit in the values that represent the different states of the systems, whereas the knowledge is implicit in the relations between the values of the different attributes or present characteristics. These relationships are identified by groups to be discovered and describe the relationships between the input and output states. One of the main human functions is to classify, differentiate and group different objects according to their attributes. The article investigates how to apply fuzzy grouping algorithms, which allow an element to belong to more than one group by a degree of membership, in order to obtain relevant characteristics or recognize patterns of a set of data. We discuss a study that involved 4 main fuzzy algorithms where each algorithm is explained and how they are related, as well as with each new algorithm solves problems that the previous one did not solve efficiently.

KEYWORDS: Diffuse grouping, Fuzzy logic, Data mining and Diffuze technology.

RESUMEN: En los últimos años, los avances en la tecnología han llevado a la generación de grandes volúmenes de datos, principalmente datos numéricos, destacando el interés en procesarlos para extraer conocimiento e información de ellos. El objetivo principal es hacer más eficientes los sistemas a partir de los cuales se han obtenido estos datos y ayudar en la toma de decisiones. La información en una base de datos está implícita en los valores que representan los diferentes estados de los sistemas, mientras que el conocimiento está implícito en las relaciones entre los valores de los diferentes atributos o características presentes. Estas relaciones son identificadas por grupos para ser descubiertas y describen las relaciones entre los estados de entrada y salida. Una de las principales funciones humanas es clasificar, diferenciar y agrupar diferentes objetos según sus atributos. El artículo investiga cómo aplicar algoritmos de agrupamiento difusos, que permiten que un elemento pertenezca a más de un grupo por un grado de membresía, con el fin de obtener características relevantes o reconocer patrones de un conjunto de datos. Discutimos un estudio que involucró 4 algoritmos difusos principales donde cada algoritmo se explica y cómo se relacionan, así como con cada nuevo algoritmo resuelve problemas que el anterior no resolvió de manera eficiente.

PALABRAS CLAVE: Agrupación difusa, lógica difusa, extracción de datos y tecnología Difs.

1 INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de datos y el elevado volumen de información que se tienen actualmente ha hecho necesario contar con técnicas automáticas que permitan indagar, organizar y extraer información implícita presente en las enormes bases de datos que contienen información variada, la cual extraer de forma manual resulta prácticamente imposible a medida que va creciendo el tamaño de las bases de datos. El problema con que se enfrentan las principales funciones humanas es la de clasificar, diferenciar y agrupar diversos objetos según sus atributos o características en comportamiento de los sistemas. Esta selección de atributos para tareas de clasificación y segmentación es encontrar un lenguaje de representación adecuado a los objetos que estudian y analizan.

Para formalizar lo que entendemos por agrupamiento necesitamos establecer dos conceptos fundamentales, el primero, qué se entiende propiamente por agrupar, y segundo, qué se entiende por asignar a un grupo, proceso que es denominado en la literatura por clasificar. Se establece una definición matemática formal al concepto de agrupamiento, de manera que sea útil para el objeto de las definiciones y aplicaciones posteriores. Desde un punto de vista formal, la tarea de un procedimiento de agrupar es asignar los individuos u objetos del conjunto $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ a c subconjuntos, denominados clases o grupos. Cada uno de esos subconjuntos es representado por un prototipo $v_i \in \{1, \dots, c\}$, y se calcula para el caso de agrupamiento con lógica difusa el grado de pertenencia μ_{ik} del objeto x_k al grupo c_i . [1]

Entre los métodos para agrupar se encuentra los métodos clásicos de la estadística, como el método k-means o jerarquizados, y otros desarrollados en las áreas de inteligencia artificial, como las redes neuronales, el aprendizaje de máquina, y los métodos de agrupamiento difuso.

Uno de los principales tipos de algoritmos de data mining son los de “clustering” de datos, los que agrupan datos por similitud. Podemos considerar que el proceso de clustering emula una de las funciones básicas del hombre, su capacidad de agrupar objetos. De ahí su importancia y la extensa literatura publicada al respecto.

La lógica difusa ha demostrado ser de gran utilidad para representar el comportamiento o dinámica de los sistemas mediante reglas difusas del tipo “Si-Entonces”.

Los primeros sistemas basados en reglas difusas se basaban en la información suministrada por expertos; sin embargo, para el caso de sistemas complejos las reglas así construidas no permitían una simulación aceptable del sistema. La búsqueda de sistemas difusos que aproximen de manera aceptable la dinámica de sistemas complejos ha conllevado al desarrollo de investigación en técnicas de extracción de reglas difusas a partir de datos de entrada y salida; es decir, al desarrollo de técnicas de identificación difusa. Sin embargo, estas técnicas de identificación deben generar modelos difusos que cumplan con dos características fundamentales: una acertada precisión, lo cual se puede determinar mediante una métrica del error; y una buena interpretabilidad para que el sistema difuso resultante se asemeje a la forma como el ser humano toma decisiones. La interpretabilidad requiere de, al menos, un número no muy alto de reglas, preferiblemente no mayor a nueve; no solapamiento de más de dos funciones de pertenencia.

Una de las tareas frecuentes en el área de reconocimiento de patrones, estadística aplicada y minería de datos, consiste en aplicar algoritmos de agrupamiento en el tratamiento de datos, con el fin de obtener características relevantes o reconocer patrones. En general, por patrones se designa alguna representación abstracta de un conjunto de datos. Desde un punto de vista abstracto, el problema del análisis de agrupamiento se define frecuentemente como el de encontrar “grupos naturales”. El agrupamiento es el proceso de asignar un ítem, un individuo, un objeto, o una observación a su lugar propio, es decir, al lugar natural que debe ocupar. En un sentido más concreto, el objetivo es reunir un conjunto de objetos en clases tales que el grado de “asociación natural” para cada individuo es alto con los miembros de su misma clase y bajo con los miembros de las otras clases. Lo esencial del análisis de agrupamiento se enfoca entonces a cómo asignar un significado a los términos “grupos naturales” y “asociación natural”, donde “natural” usualmente se refiere a estructuras homogéneas y “bien separadas”.

Las técnicas de lógica difusa permiten manejar datos en los cuales existe una transición suave entre categorías distintas, por lo que algunos datos pueden tener propiedades de clases diferentes, estando parcialmente en más de un grupo con un grado específico de pertenencia. Por lo que cabe realizar la pregunta de ¿cuándo usar la tecnología fuzzy o difusa?:

- En procesos complejos, si no existe un modelo de solución sencillo.
- En procesos no lineales.
- Cuando haya que introducir la experiencia de un operador “experto” que se base en conceptos imprecisos obtenidos de su experiencia.
- Cuando ciertas partes del sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma fiable (con errores posibles).

- Cuando el ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras.
- En general, cuando se quieran representar y operar con conceptos que tengan imprecisión o incertidumbre (como en las Bases de Datos Difusas).

La misma además tiene aplicación en varias áreas como: Control de sistemas, Predicción y optimización, Reconocimiento de patrones y Visión por ordenador y Sistemas de información o conocimiento.

Una de las tareas de la minería de datos es la identificación de grupos o clusters naturales en los conjuntos de datos.

El clustering o agrupamiento es la tarea de agrupar datos a partir de una medida de similitud [3,4]. Estos métodos permiten clasificar y correlacionar datos en el espacio (ver Fig. 1). La clasificación puede manejarse en forma supervisada y no supervisada. Un aprendizaje es supervisado, cuando se realiza un reconocimiento de patrones, es decir, se conoce la salida esperada de la clasificación. Un aprendizaje es no supervisado, cuando se construyen clases desconociendo la salida esperada del agrupamiento. En el caso de aprendizaje no supervisado se habla de clustering. [2]

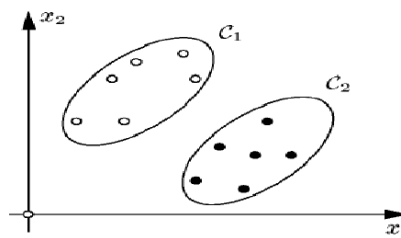


Fig. 1. Representación geométrica de dos clases en el espacio de datos

La importancia de desarrollar algoritmos de agrupamiento de carácter dinámico, proviene a partir de que éstos tienen la capacidad para enfrentar situaciones derivadas de actualizaciones o agregación de nuevos objetos, y segundo que pueden reutilizar las estructuras de clases y la información conocida en el pasado. Este potencial es equivalente a tener la capacidad de reutilizar nuevamente la información de las clases obtenidas en una etapa anterior en un nuevo agrupamiento sobre actualizaciones de los objetos o individuos que se agregan, por ejemplo, utilizarlos en aplicaciones de Data Mining que pueden ser bastante costosas en tiempo de análisis, refrescándolas con la actualización o agregación de objetos aprovechando el conocimiento ya obtenido.

Los algoritmos de agrupamiento difuso representan la técnica más adecuada para la obtención de modelos difusos, siendo los métodos de Fuzzy C-Means, K-Mean y de GustafsonKessel los más empleados. [6]

2 ANÁLISIS TEÓRICO

2.1 K-MEANS

Uno de los algoritmos de clustering más conocido es el K-Means. Este recibe como parámetro un número K de clusters a encontrar, y luego mediante iteraciones respecto a los datos, encuentra K “centroides” o “centros de masa” de los datos, además de asignar cada dato al centroide más cercano. K-Means (el más simple) agrupa los datos en hipersferas, y su entrenamiento depende del número de clases (K) y de los centroides iniciales [4]. Con base en un criterio de optimización el método permite agrupar los datos en función de la similitud entre ellos, en este caso la distancia mide la separación de un dato con respecto al centro de una clase.

K-Means clustering tiene la intención de dividir n objetos en k clusters en los que cada objeto pertenece al clúster con la media más cercana. Este método produce exactamente k diferentes clusters de mayor distinción posible. El mejor número de grupos k que conducen a la mayor separación (distancia) no se conoce como a priori y se debe calcular a partir de los datos. El objetivo del agrupamiento de K-Means es minimizar la varianza intra-agrupación total o la función de error cuadrático. Además, procesa los patrones secuencialmente (por lo que requiere un almacenamiento mínimo).

K-Means es relativamente un método eficiente. Sin embargo, tenemos que especificar el número de clústeres, por adelantado y los resultados finales son sensibles a la inicialización y, a menudo termina en un óptimo local. Desafortunadamente no hay un método teórico global para encontrar el número óptimo de grupos. Un enfoque práctico es comparar los resultados de múltiples ejecuciones con diferentes k y elegir el mejor basado en un criterio predefinido. En general, un k grande probablemente disminuye el error pero aumenta el riesgo de overfitting¹. [2]

Aunque dicho algoritmo está sesgado por el orden de presentación de los patrones y su comportamiento depende enormemente del parámetro K si se selecciona adecuadamente el número de agrupamientos el algoritmo se comporta como un buen clasificador, ya que los elementos internos son cercanos y los elementos externos se alejan. En este algoritmo la distancia cuadrática Euclideana es usada como medida discriminante:

$$d(x_i, x_i) = \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2 = \|x_i - \bar{x}_i\|^2 \quad (1)$$

De igual forma los puntos de dispersión pueden ser escritos como:

$$W(C) = \sum_{k=1}^K N_k \sum_{C(i)=k}^n \|x_i - \bar{x}_k\|^2 \quad (2)$$

Donde $\bar{x}_k = (\bar{x}_{1k}, \dots, \bar{x}_{nk})$ es el vector de medias asociado con el k-ésimo grupo, y $N_k = \sum_{i=1}^N I(C(i) = k)$.

El algoritmo puede presentar mejor convergencia que otros algoritmos, dado que se evalúa la actualización de cada centroide de forma independiente, aunque, a su vez, podría representar un mayor costo computacional.

Asumiendo que un elemento x_i perteneciente a un grupo C_i en la solución actual es reasignado a algún otro grupo C_j , la actualización de los centroides puede realizarse aplicando [8]:

$$q_l \leftarrow \frac{n_l q_l - x_i}{n_l - 1}, \quad q_j \leftarrow \frac{n_j q_j + x_i}{n_j + 1} \quad (3)$$

donde $n_i = n_e(C_i)$ y $l \neq j$.

Seudocódigo del algoritmo [8]:

1. Inicialización: escoger un valor de k y una partición inicial $C(0)$ con centroides $Q(0)$, fijar número máximo de iteraciones N_{iter} , inicializar el contador: $r = 1$

Mientras $r < N_{iter}$

Desde $j = 1$ **hasta** k **hacer**

2. Mover los centroides:

$$q_l^{(r)} \leftarrow \frac{n_l q_l^{(r-1)} - x_i}{n_l - 1}, \quad q_j^{(r)} \leftarrow \frac{n_j q_j^{(r-1)} + x_i}{n_j + 1}$$

3. Calcular el cambio de la función objetivo:

$$v_{ij} = \frac{n_j}{n_j + 1} \|q_j^{(r)} - x_i\|^2 - \frac{n_l}{n_l - 1} \|q_l^{(r)} - x_i\|^2, \\ x_i \in C_l^{(r)}$$

Si $v_{ij} \geq 0$ ($i = 1, \dots, n$ y $j = 1, \dots, k$)

4. El proceso termina y la solución es $C^{(r)}$
en caso contrario

r $\leftarrow$ **r + 1**

Termina Si

Termina Desde

Termina Mientras

2.2 C-MEANS CLÁSICO

C-means es un algoritmo iterativo que hace parte de las técnicas de agrupamiento no supervisado y tiene como objetivo encontrar patrones o grupos interesantes en un conjunto de datos dado, de tal manera que tales patrones, estructuras o grupos encontrados sirvan para la clasificación, el diseño de estrategias, el soporte de decisiones o la organización de la información [10].

Al igual que otras técnicas clásicas de agrupamiento C-means realiza una partición dura del conjunto de datos, que se caracteriza porque cada dato pertenezca exclusivamente a un cluster (grupo o clase) de la partición, además, los clusters deben cubrir totalmente el conjunto de datos, es decir, cada dato tiene que pertenecer a alguno de los clusters. Para lo cual la cantidad de clusters debe ser definida para inicializar el algoritmo. Una partición dura se define formalmente de la siguiente manera:

Sea X un conjunto de datos y x_i un elemento perteneciente a X . se dice que una partición $P = \{C_1, C_2, \dots, C_c\}$ donde c es un número entero no negativo que indica la cantidad de clusters, es una partición dura de X si y solo si:

$$\forall x_i \in X \exists C_j \in P \text{ tal que } x_i \in C_j$$

$$\forall x_i \in X x_i \in C_j \Rightarrow x_i \notin C_k$$

$$\text{Donde } k \neq j, C_k, C_j \in P$$

La primera condición asegura que la partición cubra todos los puntos de X , la segunda garantiza que todos los clusters sean mutuamente excluyentes.

Los objetivos del algoritmo c-means convencional son: encontrar el centro de cada cluster (este punto central es conocido con el nombre de prototipo del cluster) y determinar cuál es el único cluster al que pertenece cada punto del conjunto de datos.

Para lograr el objetivo de hallar el centro de cada cluster se establece un criterio de búsqueda de dicho centro. Uno de tales criterios es la suma de la distancia entre los puntos de cada cluster y su centro, de la siguiente manera:

$$J(P, V) = \sum_{j=1}^c \sum_{x_i \in X} \|x_i - v_j\|^2 \quad (4)$$

Donde V es un vector de los centros de cada cluster a ser identificados. Este criterio es útil porque un conjunto de centros de los clusters adecuado o correcto brindará un valor mínimo de la función J .

Como primer paso el algoritmo C-means calcula la partición actual con base a los prototipos actuales, como segundo paso modifica los prototipos actuales usando un método de optimización (Ej. Gradiente óptimo) para minimizar la función J , luego estos dos pasos se repiten iterativamente hasta alcanzar algún criterio de parada que usualmente es la diferencia de los prototipos entre dos ciclos consecutivos; cuando el algoritmo alcanza su criterio de parada significa que la función J llegó a un mínimo local.

2.3 FUZZY C-MEANS (FCM)

En muchas situaciones cotidianas ocurre el caso que un dato está lo suficientemente cerca de dos grupos de tal manera que es difícil etiquetarlo en uno o en otro, esto se debe a la relativa frecuencia con la cual un dato particular presenta características pertenecientes a grupos distintos y como consecuencia no es fácilmente clasificado.

En agrupamiento difuso, los puntos de datos pueden pertenecer a más de un grupo, y asociado con cada uno de los puntos son los grados de miembros que indican el grado en que los puntos de datos pertenecen a los diferentes grupos.

Una técnica difusa bastante conocida y que ha cobrado importancia en la tarea de clustering o agrupamiento es el algoritmo Fuzzy C-Means (FCM), es una técnica difusa de minería de datos para el clustering que se basa en el algoritmo clásico C-Means.

FCM es un algoritmo que se desarrolló con el objetivo de solucionar los inconvenientes de la técnica de K-means. El algoritmo FCM asigna a cada dato un valor de pertenencia dentro de cada grupo y por consiguiente un dato específico puede pertenecer parcialmente a más de un grupo. A diferencia del algoritmo K-means clásico que trabaja con una partición dura, FCM realiza una partición suave del conjunto de datos, en tal partición los datos pertenecen en algún grado a todos los grupos; una partición suave se define formalmente como sigue: Sea X conjunto de datos y x_i un elemento perteneciente a X , se dice que una partición $P = \{C_1, C_2, \dots, C_c\}$ es una partición suave de X si y solo si las siguientes condiciones se cumplen:

$$\forall x_i \in X \forall C_j \forall P 0 \leq \mu_{cj}(x_i) \leq 1$$

$$\forall x_i \in X \exists C_j \forall P 0 \leq \mu_{cj}(x_i) \leq 1$$

Donde $\mu_{cj}(x_i)$ denota el grado en el cuál x_i pertenece al grupo C_j .

El algoritmo asigna a cada dato un grado de pertenencia dentro de cada cluster y como consecuencia un dato puede pertenecer parcialmente a más de un grupo. Es una técnica de minería de datos que permite encontrar grupos naturales en un conjunto de datos y puede ser aplicado en diversos campos como organización y clasificación de datos, reconocimiento de patrones, estudio del clima, diagnóstico de enfermedades, bioinformática, genética, cancelación de ruido e interferencia de una señal, estudio de series de tiempo, estudio de la rentabilidad económica de una empresa, soporte de la decisión, segmentación de mercados y clientes (weber).

Pasos para aplicar el algoritmo:

- Agrupar los datos en k grupos donde k está predefinido.
- Seleccionar k puntos al azar como centros de agrupación.
- Asignar objetos a su centro de clúster más cercano de acuerdo con la función de distancia euclidiana.
- Calcular el centroide o la media de todos los objetos en cada grupo.
- Repetir los pasos 2, 3 y 4 hasta que los mismos puntos se asignen a cada grupo en rondas consecutivas.

Para calcular el grado de pertenencia de cada caso, respecto a cada conjunto, y para cada variable de entrada se utiliza la siguiente ecuación:

$$\mu_{ci}(x) = \frac{1}{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\|x_i - c_i\|^2}{\|x_i - c_j\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (5)$$

FCM se basa en la minimización de la siguiente función objetiva:

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (6)$$

Donde m es cualquier número real mayor que 1 el cual es un peso que determina el grado en el cuál los miembros parciales de un conjunto afectan el resultado, x_i es el i-ésimo caso de datos, μ_{ij} es el grado de pertenencia de x_i en cada conjunto j, c_j es el centro del conjunto j, y $\| \cdot \|$ es cualquier norma que expresa la similitud entre un caso y el centro del conjunto difuso.

Una partición difusa $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ puede ser un mínimo local de la función objetivo J_m solo si las siguientes condiciones se cumplen:

$$\mu_{ci}(x) = \frac{1}{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\|x - v_i\|^2}{\|x - v_j\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad 1 \leq i \leq k, x \in X \quad (7)$$

$$v_i = \frac{\sum_{x \in X} (\mu_{ci}(x))^m x}{\sum_{x \in X} (\mu_{ci}(x))^m} \quad 1 \leq i \leq k \quad (8)$$

ALGORITMO FCM:

Considerando a U^t como el valor de la matriz de partición y v^t como el valor de la matriz de prototipos en la iteración t-ésima del método se presenta el siguiente algoritmo:

1. Inicializar U^0 y v^0 aleatoriamente.
2. If $\|v^t - v^{t-1}\| < \epsilon \rightarrow$ Fin
3. Else:

- Actualizar U^t con v^{t-1} y la ecuación (7).
- Actualizar v^t con U^t y la ecuación (8).

2.4 WEIGHTED FUZZY C-MEANS (WFCM)

El algoritmo Weighted Fuzzy C-Means (WFCM), que representa una adaptación particular de FCM para incorporar el proceso de selección de atributos.

El algoritmo FCM clásico nos entrega como salida un conjunto de vectores prototipos v y a una matriz de partición U que asigna a cada uno de los patrones, distintos grados de pertenencia a cada uno de los respectivos prototipos o clúster. Sin embargo, el método clásico no entrega información respecto a la relevancia de los atributos en este proceso de clustering este algoritmo que se explica a continuación implementa un aprendizaje de los pesos de los atributos en un proceso de clustering.

Antes de entrar en el algoritmo primero se debe presentar la métrica de distancia que incorpora los pesos, luego la derivación de la regla de aprendizaje de pesos y finalmente la nueva estructura del algoritmo WFCM.

MÉTRICA DE DISTANCIA

Uno de los componentes más importantes en un proceso de clustering donde se busca agrupar a los similares y separar a los disimiles es la forma en que se define la función de distancia entre objetos. Como se ha presentado el algoritmo original de FCM se basa en la función de distancia euclideana. La primera modificación planteada consiste en considerar una ponderación de cada atributo por un conjunto de pesos.

Sea $w = [w_1, w_2, \dots, w_p]$ un vector de pesos asociado a los p atributos de un conjunto de datos particular X . Se define la distancia entre un patrón $x_k \in X$ al i -ésimo prototipo v_i con pesos w mediante:

$$d_{ik}^w = \sqrt{\sum_{j=1}^p \frac{w_j^\alpha (x_{kj} - v_{ij})^2}{\sigma_j^2}} \quad (9)$$

Donde σ_j^2 representa la varianza del j -ésimo atributo.

Esta función de distancia es muy similar a la euclideana utilizada en FCM. Sin embargo, se puede notar que hay dos diferencias relevantes. En primer lugar se considera un factor de escalamiento por atributo asociado a la varianza. Este factor proviene de la distancia de Mahalanobis que considera un escalamiento por la matriz (Σ) de varianzas y co-varianzas. En nuestro caso no se considera la correlación entre atributos, lo cual elimina las co-varianzas de la matriz Σ de manera que esta sea diagonal. De esta forma la función distancia escala cada atributo dividiendo por su varianza σ_j^2 .

La segunda diferencia está en la ponderación de pesos w_j^α asociada a los atributos. Esta es la ponderación que se desea aprender durante el proceso de clustering. El parámetro α representa una suavización respecto a la discriminación de los atributos, similar a la función del parámetro m en FCM.

Además de considerar esta nueva función de distancia, se desea que $w_j \in [0,1]$ y que $\sum_{j=1}^p w_j = 1$ para que los pesos representen una ponderación. De esta manera, se obtendrá una interpretación más directa de los pesos resultantes.

NORMALIZACIÓN E INVARIANZA DE ESCALA

Es importante notar que la distancia Mahalanobis planteada se puede aplicar a FCM, incluso sin los pesos w adicionales. Además el efecto de usar esta función de distancia es equivalente a una normalización de los datos. Consideremos una normalización gaussiana de los datos x de la siguiente manera:

$$x^n = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (10)$$

Donde $\bar{x}$ y σ representan la media y desviación estándar de los datos respectivamente, y x^n corresponde a los datos normalizados. Ahora considerando la distancia euclideana entre dos datos normalizados:

$$\begin{aligned}
 d_{ik} &= \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij}^n - x_{kj}^n)^2} \\
 &= \sqrt{\sum_{j=1}^p \left(\frac{(x_{ij} - \bar{x}_j)}{\sigma_j} - \frac{(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sigma_j} \right)^2} \quad (11) \\
 &= \sqrt{\sum_{j=1}^p \frac{(x_{ij} - x_{kj})^2}{\sigma_j^2}}
 \end{aligned}$$

Se obtiene justamente la distancia mahalanobis escalar que se considera en la ecuación (9) pero sin pesos.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que el algoritmo FCM no tiene la propiedad de invarianza de escala, i.e., al cambiar la escala de los datos, no necesariamente se obtienen los mismos clusters. Como la normalización mencionada es justamente un escalamiento de los datos, debemos tener en cuenta que ello afecta al algoritmo de FCM.

En WFCM se plantea este escalamiento aprendido como un aporte al proceso de clustering. La consideración de la distancia de Mahalanobis escalar permite evitar sesgos del proceso relacionados con la varianza de los datos y de esta forma el algoritmo WFCM tiene invarianza de escala.

APRENDIZAJE DE LOS PESOS DE LOS ATRIBUTOS

En esta sección se deriva una regla de aprendizaje para los nuevos pesos de los atributos introducidos en la función de distancia. Para ello se modifica la función objetivo de FCM para incorporar dichos pesos:

$$J_m^w = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m \sum_{j=1}^p \frac{w_j^\alpha (x_{kj} - v_{ij})^2}{\sigma_j^2} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m d_{ik}^{w2} \quad (12)$$

Con esta función objetivo se define el problema de Weighted Fuzzy C-Means (WFCM) de la siguiente manera:

$$\min J_m^w(U, v, w) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m d_{ik}^{w2}$$

S.A.

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^c u_{ik} &= 1 & (\forall k) \\
 \sum_{j=1}^p w_j &= 1 \\
 u_{ik}, w_j &\in [0, 1]
 \end{aligned} \quad (13)$$

Se puede ver que el problema planteado es el mismo que el de FCM, considerando la nueva función de distancia propuesta y la restricción sobre los pesos de los atributos. Por ello, se sigue un análisis y resolución similar al planteado por Bezdek [2] para el algoritmo original. Para la minimización de esta función se consideran multiplicadores de Lagrange asociadas a las primeras dos restricciones. Ello permite incorporar dichas restricciones a la función objetivo. Las columnas de la matriz U son independientes, lo que permite plantear el lagrangeano:

$$L_k = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m d_{ik}^{w2} - \lambda \left(\sum_{i=1}^c u_{ik} - 1 \right) - \eta \left(\sum_{j=1}^p w_j - 1 \right) \quad (13)$$

Para encontrar el óptimo, se resuelve $\nabla L_k = 0$ con respecto a los parámetros U , v y w . Al derivar respecto a u_{ik} y v_i se obtienen las ecuaciones originales de actualización de Bezdek [2]:

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{l=1}^c \left(\frac{d_{ik}^w}{d_{lk}^w} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (14)$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m} \quad (15)$$

La ecuación (15) de actualización de los centros v_i , no cambia respecto de FCM al agregar los pesos. Sin embargo, la ecuación de actualización (14) de la matriz de pertenencia U , sí cambia al considerar la relación entre las distancias *ponderadas* por nuestra nueva función de distancia.

Al resolver $\frac{\partial L_k}{\partial w_j} = 0$ se obtiene:

$$\frac{\partial L_k}{\partial w_j} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m 2d_{ik}^w \frac{\partial d_{ik}^w}{\partial w_j} - \eta = 0 \quad (16)$$

Ya en una ecuación anterior (13) se encuentra la derivada de la función distancia respecto al peso w_j :

$$\begin{aligned} \frac{\partial d_{ik}^w}{\partial w_j} &= \frac{1}{2} \left(\sum_{j=1}^p \frac{w_j^\alpha (x_{kj} - v_{ij})^2}{\sigma_j^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{\alpha w_j^{\alpha-1} (x_{kj} - v_{ij})^2}{\sigma_j^2} \\ &= \frac{\alpha w_j^{\alpha-1} (x_{kj} - v_{ij})^2}{2\sigma_j^2 d_{ik}^w} \end{aligned}$$

Poniendo esto en 10:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{\partial L_k}{\partial w_j} &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m 2d_{ik}^w \frac{\alpha w_j^{\alpha-1} (x_{kj} - v_{ij})^2}{2\sigma_j^2 d_{ik}^w} - \eta = 0 \\ &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m \frac{\alpha w_j^{\alpha-1} (x_{kj} - v_{ij})^2}{\sigma_j^2} - \eta = 0 \end{aligned}$$

De donde se obtiene:

$$w_j = \left(\frac{\eta}{f_j} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \quad (17)$$

donde f_j se ha definido como:

$$f_j = \frac{\alpha}{\sigma_j^2} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m (x_{kj} - v_{ij})^2 \quad (18)$$

De la segunda restricción en 6 se tiene que $\sum_{l=1}^p w_{l=1} = 1$, y en ecuación 17 ellos nos entregan:

$$\begin{aligned}
\sum_{l=1}^p w_l &= \sum_{l=1}^p \left(\frac{\eta}{f_l}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}} = 1 \\
&= \eta^{\frac{1}{\alpha-1}} \sum_{l=1}^p \left(\frac{1}{f_l}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}} = 1 \\
\Rightarrow \eta^{\frac{1}{\alpha-1}} &= \frac{1}{\sum_{l=1}^p \frac{1}{f_l^{\frac{1}{\alpha-1}}}}
\end{aligned}$$

Reemplazando $\eta^{\frac{1}{\alpha-1}}$ en 11,

$$w_j = \frac{1}{f_j^{\frac{1}{\alpha-1}}} \frac{1}{\sum_{l=1}^p \frac{1}{f_l^{\frac{1}{\alpha-1}}}}$$

de donde finalmente se obtiene:

$$w_j = \frac{1}{\sum_{l=1}^p \left(\frac{f_j}{f_l}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}}} \quad (18)$$

El algoritmo WFCM sigue el mismo esquema que el de FCM planteado en el que se basa en el concepto de Optimización Alternante [11], a su vez basado en la idea de iteraciones de Picard como método de aproximación numérica a una solución. En general la idea consiste en fijar todos los parámetros menos, el que se optimiza mediante las ecuaciones de actualización mencionadas anteriormente. Ello se repite hasta que se cumpla un criterio de convergencia, ya sea en torno a uno de los parámetros o asociado a un número fijo de iteraciones. En este contexto el algoritmo se puede resumir de la siguiente manera:

1. Inicializar U^0, v^0 y w^0 .
2. If $\|v_t - v_{t-1}\| < \epsilon \rightarrow Fin$
3. Else:
 - Actualizar U^t con v^{t-1} y w^{t-1} según la ecuación 15.
 - Actualizar v^t con U_t según ecuación 16.
 - Actualizar w^t con U^t y v^t según ecuación 18.

En el algoritmo FCM la inicialización es aleatoria y sólo afecta a uno de los 2 parámetros dado que las actualizaciones son interdependientes. Vale decir, si en el paso 3 del algoritmo, primero se actualiza U^1 , y el valor de U^0 no es relevante. En el caso de WFCM la interdependencia es respecto a 3 parámetros. En el esquema sólo nos interesan los valores iniciales para v^0 y w^0 . En el caso de v^0 cada prototipo se inicializa aleatoriamente entre los rangos mínimos y máximos por dimensión. En el caso de w^0 el vector se inicializa con un valor constante igual a $1/p$, valor que permite no sesgar el movimiento inicial de los otros parámetros y además cumplir con las condiciones planteadas en el 13.

2.5 GUSTAFSONKESSEL

La agrupación difusa utiliza la teoría de conjuntos difusos y las técnicas de agrupamiento basadas en funciones objetivas en distancias entre clusters y distancias entre datos y clusters. Los primeros trabajos sobre agrupamiento difuso [14, 15] se basaron sobre la distancia euclidiana [16] que no pudo capturar la correlación entre los datos. Este problema ha sido resuelto en GK-clustering [17], utilizando Mahalanobis distancia [18] para considerar la distribución de los datos mediante la incorporación de la Covarianza de datos. La distancia de Mahalanobis tiene en cuenta la correlación del conjunto de datos y es invariante en escala, es decir, no depende de la escala de las mediciones. Una versión mejorada de fuzzy GK-clustering se introdujo en [19].

Para afrontar la singularidad y la sobrealimentación.

Gustafson y Kessel extendieron los medios c difusos estándar utilizando una norma adaptativa de distancia, con el fin de para detectar agrupamientos de diferentes formas geométricas en un solo dato Conjunto [13]. Cada grupo tiene su propia matriz inductora de normas A_i . Las matrices A_i se utilizan como variables de optimización en la C-means funcional, lo que permite a cada grupo adaptar la distancia a la estructura topológica local de los datos. Dado el conjunto de datos Z , elija el número de clústeres como $1 < c < N$, el exponente de ponderación $m > 1$ y la terminación Tolerancia $0 > \varepsilon$. Inicializar la matriz de partición aleatoriamente tal que $U^{(0)} \in M_{fc}$.

El algoritmo G-K es parecido que el C-means, sólo el cálculo de la distancia medida se calcula utilizando matrices de covarianza como sigue:

$$F_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m (Z_k - V_i^{(l)})(Z_k - V_i^{(l)})^T}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, \quad (19)$$

La aplicación del algoritmo GK-clustering se representa en los siguientes pasos [17, 19]:

Paso 1: Determine el número de clusters en términos de conocimiento previo sobre el sistema. A continuación, inicialice la partición *Matrix* $u = [B_{ik}]$ con valores aleatorios tomados del intervalo [0,1]. Las filas de matriz de partición corresponden a clústeres mientras que sus columnas se asocian con los datos. Por lo tanto, cada fila de matriz de partición tiene que incluir al menos una entrada distinta de cero y la suma de cada columna de esta matriz debe ser 1;

Paso 2: Calcule los prototipos usando

$$v_i^l = \frac{\sum_{k=1}^N (\beta_{ik}^{l-1})^e Z_k}{\sum_{k=1}^N (\beta_{ik}^{l-1})^e}; \quad (20)$$

Paso 3: Calcular $D_{ik A_i}^2$ valores usando la ecuación $D_{ik A_i}^2 = (Z_k - V_i)^T A_i (Z_k - V_i)$ y ecuación 13.

Paso 4: Actualizar la matriz de particiones basada en

$$\beta_{ik}^l = \frac{1}{\sum_{j=1}^C \left(\frac{D_{ik A_i}}{D_{jk A_j}} \right)^{2/(e-1)}}; \quad (21)$$

Paso 5: Vaya al paso 2 y repita los procedimientos, hasta que la desigualdad de convergencia $\|u^{(l+1)} - u^{(l)}\| < \varepsilon$ está satisfecho donde $\|u^{(l+1)} - u^{(l)}\|$ es el cambio en la norma de la matriz de partición, l el número de iteraciones y ε es un pequeño valor real positivo.

El algoritmo GK-clustering es una potente técnica de clustering; Sin embargo, los problemas numéricos pueden ocurrir con frecuencia frecuentemente en la agrupación GK estándar cuando el número de datos en algún grupo es pequeño o cuando los datos dentro de un grupo están casi linealmente correlacionados. En tales casos, la matriz de covarianza de clúster se vuelve singular y no puede invertirse para calcular el determinante de matriz así como la matriz inductora de normas. Babuska en [19] presentó un método para superar el problema de la singularidad mediante la fijación de la relación entre los valores propios máximos y mínimos de la matriz de covarianza. El otro problema es la superposición en la que algunos grupos se forman extremadamente largos en la dirección de los autovalores más grandes. En este caso, la matriz de covarianza no refleja la distribución real de los datos y, en consecuencia, se obtendrá un modelo deficiente. La siguiente modificación para el algoritmo GK se ha propuesto en [19] para superar este problema:

$$F_i^{new} = (1 - \gamma)F_i + \gamma \det(F_0)^{1/n} I \quad (22)$$

Donde $\gamma \in [0,1]$ es un parámetro de ajuste y F_0 es la matriz de covarianza de todo el conjunto de datos. El parámetro de escala γ debe ser lo suficientemente grande para superar el problema de ajuste excesivo. Por otra parte, cuando está cerca de 1, todas las matrices de covarianza convergen a la misma matriz $\det(F_0)^{1/n} I$. En este caso, GK-clustering se reduce a K-significa agrupación en la que no se toma en cuenta la matriz de covarianza.

Un método de agrupación fuzzy particional basado en las distancias cuadráticas adaptativas se ha introducido en [20]. Utiliza el método de Babuska [19] para superar la singularidad. Aunque este método es capaz de modificar las distancias de agrupación de forma adaptativa en cada iteración, sufre del problema de sobre equipamiento para la aplicación de la estimación de parámetros de distribución K, especialmente cuando se experimenta con un número pequeño de muestras. Además, utiliza la distancia euclidiana que tiene una limitación para capturar una distancia justa debido al hecho de que la correlación de conjunto de datos no se considera.

Para beneficiar la expresividad de la distancia de Mahalanobis, así como superar la singularidad y la sobre ejecución, Karimoddini et al. En [21], propuso una mejora en la ecuación (22) para superar el problema de ajuste excesivo, así como para mantener la capacidad del algoritmo GK-clustering. La idea principal es que el parámetro de escala tiene que ser aumentado cuando el número de datos en un grupo es demasiado pequeño para hacer frente al problema de sobre equipamiento mientras que es necesario disminuir cuando el cluster es rico suficiente para mantener el efecto de la matriz de covarianza en la distancia de Mahalanobis. Por lo tanto, el parámetro de escala se requiere actualizar sujeto al valor de la contribución de datos en cada grupo como:

$$\rho_i = \frac{\sum_{j=1}^N u_{ij}}{N} \times 100 \quad (23)$$

Donde ρ_i representa el valor de la contribución (densidad de presencia o probabilidad) del i -th grupo de datos, u_{ij} denota el valor de pertenencia de los j -th grupos de datos i -th y N es número de todos los datos.

Ahora, la ecuación (22) se puede modificar a:

$$F_i^{new} = (1 - \gamma^{\rho_i})F_i + \gamma^{\rho_i} \det[F_0]^{1/n} I \quad (24)$$

Donde $\gamma \in [0,1]$ se elige para estar cerca de 1 (por ejemplo $\gamma = 0.9$). De esta manera, el algoritmo GK-clustering se facilita para realizar la agrupación independientemente del número de datos en cada clúster.

3 RESULTADOS

En estudios realizados se debe destacar que desde que comenzó la utilización de estos algoritmos difuso se han ido modificando y surgiendo otro mejorando dificultades de los anteriores, contextualizándolo a resolver un problema dado. De ahí la gran gamificación de estos algoritmo y fusión de los mismos. Por ejemplo se ha discutido que FCM tiene una limitación de tendencia de partición igual para conjuntos de datos, resultado de agrupación óptima de algoritmo FCM podría no ser válido para la demarcación de conjuntos de datos. A partir de lo planteado surgen modificaciones de este algoritmo dando lugar al WFCM que siguiendo con las idea del FCM, el algoritmo FCM ponderado (WFCM) utilizando la distancia euclídena e introduciendo la densidad de la muestra como el coeficiente de peso obtiene gran mejora en la agrupación. Con este algoritmo han surgidos otras modificaciones, se ha propuesto un nuevo algoritmo de C-means fuzzy ponderado alternativo (AWFCM) en vista de una nueva métrica y el peso basado en la densidad de los puntos para reducir la debilidad del FCM. Otras modificaciones a mismo algoritmo NERFCM Ponderado (WNERFCM) consiste en reducir el conjunto de datos original a uno más pequeño, asignando a cada dato seleccionado un peso que refleje el número de datos cercanos, agrupando el conjunto de datos reducido ponderado utilizando una versión ponderada del algoritmo de FCM de datos de características o relacionales y, los datos reducidos vuelven a los datos originales. Se proporcionan varios métodos para cada una de las tareas de selección de subconjuntos de datos, asignación de peso y extensión de los resultados de agrupación ponderada.

Fuzzy C-Means y K-Means: son algoritmos muy similares en el concepto de encontrar un número predefinido de centroides. La principal diferencia está en que K-Means sólo entrega la pertenencia discreta. FCM entrega una pertenencia por cluster, no obstante, ella se puede discretizar considerando que cada dato pertenece a su centroide más cercano. En términos de calidad de clustering, FCM discretizado y K-Means son muy similares. La principal ganancia de FCM está en el modelamiento de la densidad del espacio de los datos. Si sólo se desea una partición discreta del espacio, es más eficiente utilizar el algoritmo de K-Means.

4 CONCLUSIONES

Podemos considerar que el proceso de clustering emula una de las funciones básicas del hombre, su capacidad de agrupar objetos. De ahí su importancia y la extensa literatura publicada al respecto. Uno de los algoritmos de clustering más conocido

es C-Means. Este trabajo se enfoca en el área de algoritmos de agrupamiento difuso, donde cada objeto puede pertenecer a más de un grupo a la vez. En particular se trabaja con los algoritmos de K-Means, C-Means Clásico, Fuzzy C-Means y GustafsonKessel.

Con los algoritmos planteados, hemos podido comprobar algunas respuestas a preguntas como: ¿Hay atributos que sean más relevantes que otros para la separación de clusters?, ¿existen atributos irrelevantes para el proceso de clustering?, ¿existen atributos redundantes para el proceso de clustering?, ¿cambia la calidad (validez) del clustering resultante?

Hay atributos que resultan ser más importantes que otros para el proceso de clustering, los cuales obtienen pesos más altos de manera consistente en el tiempo. Se puede plantear además que los atributos que tienen pesos nulos o muy bajos dentro de un conjunto son potenciales atributos irrelevantes, es decir, el resultado de correr el mismo algoritmo sin esos atributos ha de ser el mismo. La tercera pregunta plantea la existencia de 2 o más atributos que están correlacionados de tal forma de que su contribución o relevancia al proceso de clustering sea igual. Es decir, si solo se dejara uno de esos atributos redundantes, el resultado del clustering debiera mantenerse o incluso mejorar.

No existen actualmente esquemas o algoritmos que permitan encontrar pesos de atributos y la cantidad de clusters de manera simultánea. El poder trabajar con menos atributos o con una representación de datos mediante menos atributos tiene importantes aplicaciones computacionales para efectos de procesamiento y análisis. De ahí la importancia de buscar eliminar atributos irrelevantes, o reducir la cantidad de atributos redundantes.

Estos algoritmos de agrupamiento difuso pueden ser aplicados en diferentes áreas del conocimiento como: organización y clasificación de datos, reconocimiento de patrones, estudio del clima, diagnóstico de enfermedades, bioinformática, genética, cancelación de ruido e interferencia de una señal, estudio de series de tiempo, estudio de la rentabilidad económica de una empresa, soporte de la decisión, segmentación de mercados y clientes (weber).

REFERENCIAS

- [1] ROMERO, Fernando Alexis Crespo; PARA OPTAR AL TÍTULO, Memoria. Agrupamiento dinámico con lógica difusa. 2001. Tesis Doctoral. Master's thesis, Santiago de Chile.
- [2] SARMIENTO, Henry O., et al. Agrupamiento difuso en el monitoreo térmico de líneas de transporte de energía eléctrica. Revista Politécnica, 2015, vol. 8, no 14, p. 49-55.
- [3] Ali, A., Karmakar, G. and Dooley, L.; Review on Fuzzy Clustering Algorithms, IETECH Journal of Advanced Computations, vol. 2 (no. 3), pp. 169–181, 2008.
- [4] Marroquin, J., & Girosi, F.; Some extensions of the k-means algorithm for image segmentation and pattern recognition. (AI Memo 1390). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1993.
- [5] COFRE, Sebastian Beca. Clustering difuso con selección de atributos. 2007. Tesis Doctoral. Tesis de Maestría, Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas
- [6] CONTRERAS, J.; MISA, R.; URUETA, L. Algoritmos para identificación de modelos difusos interpretables. IEEE Latin American Transactions, 2007, vol. 5, no 5.
- [7] BROUWER, Roelof K. A method for fuzzy clustering with ordinal attributes. International Journal of Intelligent Systems, 2007, vol. 22, no 6, p. 599-620
- [8] PELUFFO ORDOÑEZ, Diego Hernán, et al. Estudio comparativo de métodos de agrupamiento no supervisado de latidos de senales ECG. 2009. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- [9] TOSCANO, Ruth; AROBA, Javier; PEREGRÍN, Antonio. UNA MÉTODOLOGÍA PARA GENERAR BASES DE CONOCIMIENTO DIFUSAS BASADA EN AGRUPAMIENTO DIFUSO, SELECCIÓN Y AJUSTE EVOLUTIVOS
- [10] DIAZ, Jeronimo Rojas; PORRAS, Julio Cesar Chavarro; LAVERDE, Ricardo Moreno. Tecnicas de logica difusa aplicadas a la minería de datos. Scientia et technica, 2009, vol. 3, no 4
- [11] Bezdek, J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1981.
- [12] Ali, A., Karmakar, G. and Dooley, L.; Review on Fuzzy Clustering Algorithms, IETECH Journal of Advanced Computations, vol. 2 (no. 3), pp. 169–181, 2008.
- [13] R. Babuska, Fuzzy Modeling for Control, Boston, MA: Kluwer, 1998.
- [14] J.C. Dunn, A fuzzy relative to the ISODATA process and its use in detecting compact, well-separated clusters, Journal of Cybernetics 3 (1974) 32–57.
- [15] J.C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York, 1981.
- [16] K. Jajuga, L1-norm based fuzzy clustering, Fuzzy Sets and Systems 39 (2001) 63–83
- [17] D.E. Gustafson, W.C. Kessel, Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix, in: Proceedings of IEEE CDC, San Diego, CA, USA, 1979, pp. 761–766.

- [18] P.C. Mahalanobis, On the generalised distance in statistics, Proceedings of the National Institute of Sciences of India 2 (1) (1936) 49–55 Retrieved on 2008-11-05.
- [19] R. Babuska, P.J. van der Veen, U. Kaymak, Improved covariance estimation for Gustafson–Kessel clustering, in: Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE apos, vol. 2, 2002, pp. 1081–1085.
- [20] F.de A.T. de Carvalho, C.P. Tenório, N.L. Cavalcanti Jr, Partitional fuzzy clustering methods based on adaptive quadratic distances, Fuzzy Sets and Systems 157 (21) (2006) 2833–2857.

Sédimentologie et paléogéographie du Lias et Dogger de la cuvette d'Ouanina, Haut Atlas Occidental, Maroc

Fatiha Hadach, Ahmed Algouti, and Abdellah Algouti

University Cadi Ayyad, Faculty of Science Semlalia, Laboratory 2GRNT; Geology Department. BP 2390, 40000, Marrakech, Morocco

Copyright © 2018 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.

RÉSUMÉ: L'étude sédimentologique du Jurassique dans la région d'Ait Ourir (cuvette d'Ouanina) a permis d'individualiser deux ensembles : un ensemble silto-carbonato-évaporitique caractérisant le Lias et un ensemble grés-silteux et microconglomératique caractérisant le Dogger. Les deux ensembles sont organisés en deux mégaséquences successives régressives et margino-littoral. Le premier ensemble est constitué de deux unités : silto-argileuse à évaporitique (U1) et carbonato-évaporitique (U2), il est formé dans un milieu peu profond, intertidal supérieur à supratidal lagunaire avec des phases de forte énergie et sous un climat chaud et aride. Le deuxième ensemble est constitué aussi de deux unités : argilo-silto-gréseuse (U3) et grés-microconglomératique et silteuse (U4), il est formé dans une plaine d'inondation avec des chenaux gréseux qui évolue vers un milieu margino-littoral.

MOTS-CLEFS: Sédimentologie, Paléogéographie, Lias, Dogger, Haut Atlas Occidental, Analyse séquentielle, faciès carbonaté, Faciès détritique, Evaporite.

OBJECTIFS

Cette étude intéresse les faciès silico-clastiques, carbonatés et évaporitiques du Jurassique. Notre objectif est d'analyser ces faciès, de point de vue lithostratigraphique (lithologie, épaisseur...), sédimentologique (polarité, structures et figures sédimentaires.....) et séquentiels (discontinuité..), afin de déterminer leurs milieux de dépôt et leurs paléogéographies à cette époque du Jurassique

1 PRÉSENTATION

La zone étudiée concerne la cuvette d'Ouanina (Ait Ourir) qui se trouve dans la sous zone subatlasique septentrionale du Haut Atlas de Marrakech. Elle se localise à 50km au Sud Est de la ville de Marrakech. Elle est limitée au Nord Tasghimout Nord, au Sud par Tasghimout sud, à l'Ouest par Adendim et à l'Est par la plaine de Haouz. La cuvette d'Ouanina est située à 2km au Sud Ouest d'Ait Ourir. Elle est représentée par un grand synclinal d'orientation NE-SW (**Figure1**).

Le Jurassique dans la cuvette d'Ouanina est représenté par le Lias sous forme de cinq barres de calcaires dolomités infratidaux à intertidaux, une ligne isopique NW-SE, les sépare de niveaux évaporitiques contemporains, et par le Dogger caractérisant des couches rouges homogènes avec un faciès grés-silteux à stratifications planes ou obliques.

Le présent travail est basé sur des analyses lithostratigraphiques, sédimentologiques et séquentielles du Lias et du Dogger et dans ce sens quatre coupes ont été effectuées dans cette zone.

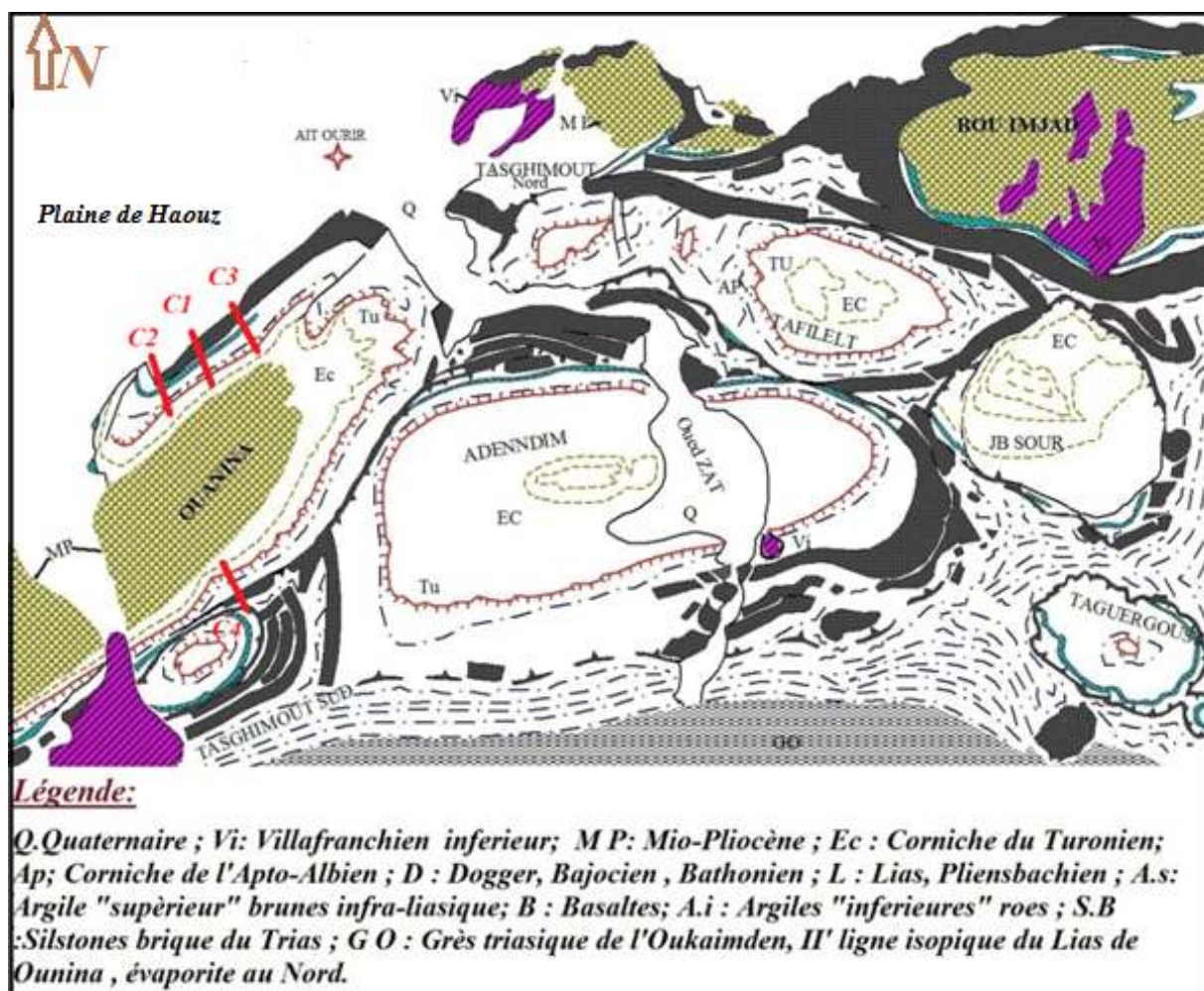


Fig. 1. Localisation des coupes réalisées (C1 : Elmers; C2 : Amanouz ; C3 : Ait Ben Ouissadene et C4 : Ait Houcha)

LOCALISATION

Les coupes levées ont été réalisées au Sud Ouest d'Ait Ourir sur la route de Tnine Ourika et plus précisément sur le flanc externe Ouest de la cuvette d'Ouanina {C1 : Elmers (**Figure 2**), C2 : Amanouz (**Figure 3**), et C3 : Ait Ben Ouissadene (**Figure 4**). Une quatrième coupe a été prise vers l'autre flanc Est de la cuvette de Ouanina C4 : Ait Houcha (**Figure 5**)}.

DESCRIPTION

Les coupes que nous décrivons ont permis de définir deux ensembles grâce à une description détaillée tant sur le terrain qu'au laboratoire. Chaque ensemble a été subdivisé en deux unités. L'ensemble silto- carbonato –évaporitique (**Lias**) contient les unités silto- argileuses à évaporites (**U1**) et carbonato- évaporitiques (**U2**), puis l'ensemble grés- silteux et microconglomératique (**Dogger**) qui comporte les unités argilo - silto - gréseux (**U3**) et grés- microconglomératiques et silteux (**U4**).

ANALYSES SÉDIMENTOLOGIQUES

L'ENSEMBLE SILTO-CARBONATO-ÉVAPORITIQUE (U1 ET U2)

UNITÉ 1 :

Cette unité débute par un niveau stromatolithique. C'est un banc carbonaté grisâtre lenticulaire à puissance de 0.5 à 1.5m. Il contient des laminations onduleuses, des slumps (SSW), une brèche monogénique de dissolution à éléments anguleux et des

Tipis (**Figure 3 / photo 1**) montrant parfois des horizons silicifiés bréchiques (**Figure 5/ photos 1 et 2**). Les laminations sont d'origine algaire marquées souvent par des horizons de cristaux de calcite dont l'épaisseur augmente de la base vers le sommet (**Figure 3 / photo 2**). Ce niveau stromatolithique se poursuit par un dépôt silto-argileux à évaporites plus épais, rougeâtre et friable.

On note à quelques mètres de la base la présence des formations récurrentes de basalte d'épaisseur à environ de 2m.

L'analyse microscopique des calcaires stromatolithiques à la base de l'unité 1 révèle des laminations stromatolithiques légèrement onduleuses à parallèles. Ces laminations sont formées d'une alternance de niveaux sombres de dolomicrites à dolomicrosparites et de niveaux clairs de dolosparites formés de grains fins de quartz. Ceci associées aux structures suivantes : des fragments remaniés de stromatolithes (**Figure 4 / photo 2**), une brèche de dissolution, des birds eyes (ou fenestraes) à remplissage carbonaté et siliceux, des sheets cracks à remplissage carbonatés, des microfissures obliques, à remplissage carbonaté et siliceux, des petits grains de quartz dispersés à faible quantité, des grains phosphatés hétérométriques, une dolomitisation et une silicification.

Comme interprétation, cette unité débute par un banc carbonaté stromatolithique qui traduit un milieu intertidal supérieur à supratidal avec des phases d'émersion sous un climat chaud et aride et un hydrodynamisme légèrement faible et se termine par des argiles à évaporites qui indiquent un régime lagunaire côtier supratidal. Plusieurs indices approuvent cette interprétation, en effet :

- Les laminations stromatolithiques légèrement onduleuses à parallèles indiquent un milieu intertidal supérieur à supratidal (**PURSER, 1980**).
- Les slumps sont des structures générées par une sédimentation rapide sur une pente (**REINECK et SINGH, 1980**).
- Les birds eyes caractérisent les sédiments supratidaux ou intertidaux, mais jamais infratidaux (**SHINN 1983**).
- Les Tipis (ou Teepees) sont des indicateurs des faciès carbonatés intertidaux et supratidaux dans une zone temporairement émergée et sous un climat chaud et aride (**DU DERSNAY, 1976**).
- Un fond micritique dolomitisé atteste un milieu de dépôt peu profond et proche du continent (**DELMAS, 1975**).
- Une dolomitisation qui résulte d'une mobilisation des ions Ca^{2+} et fixation des ions Mg^{2+} dans un milieu confiné à climat aride (**PURSER, 1980**).
- Une silicification est le résultat d'une mobilisation de la silice en milieu carbonaté et leur reprécipitation, sous un climat aride (**ARBET, 1980**).
- Des sheets cracks et brèche de dissolution monogénique plaident aussi dans le sens d'un milieu supratidal.
- Les grains phosphatés indiquent un milieu confiné.
- La présence du gypse témoigne d'un milieu supratidal confiné, sous un climat chaud et aride (**SHEARMAN, 1978**).

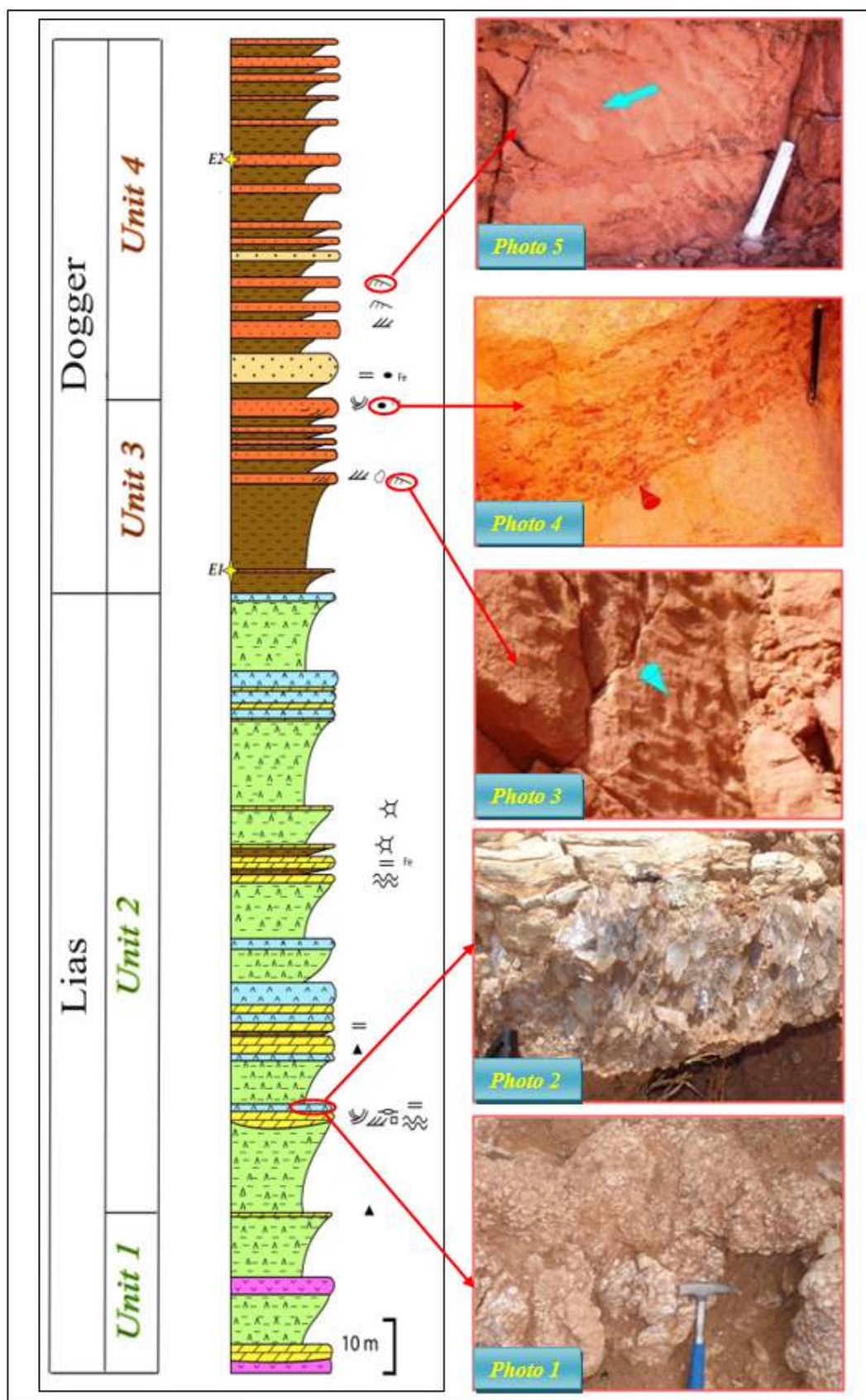


Fig. 2. Coupe d'Elmers : Photo 1: Banc gypseux à un aspect fibreux. Photo 2: Banc gypseux à un aspect nodulaire. Photo 3: Galets mous dans la partie basale d'un niveau gréseux. Photo 4: Rides d'interférence au sommet d'un banc gréseux. Photo 5: Rides asymétriques au sommet d'un banc gréseux

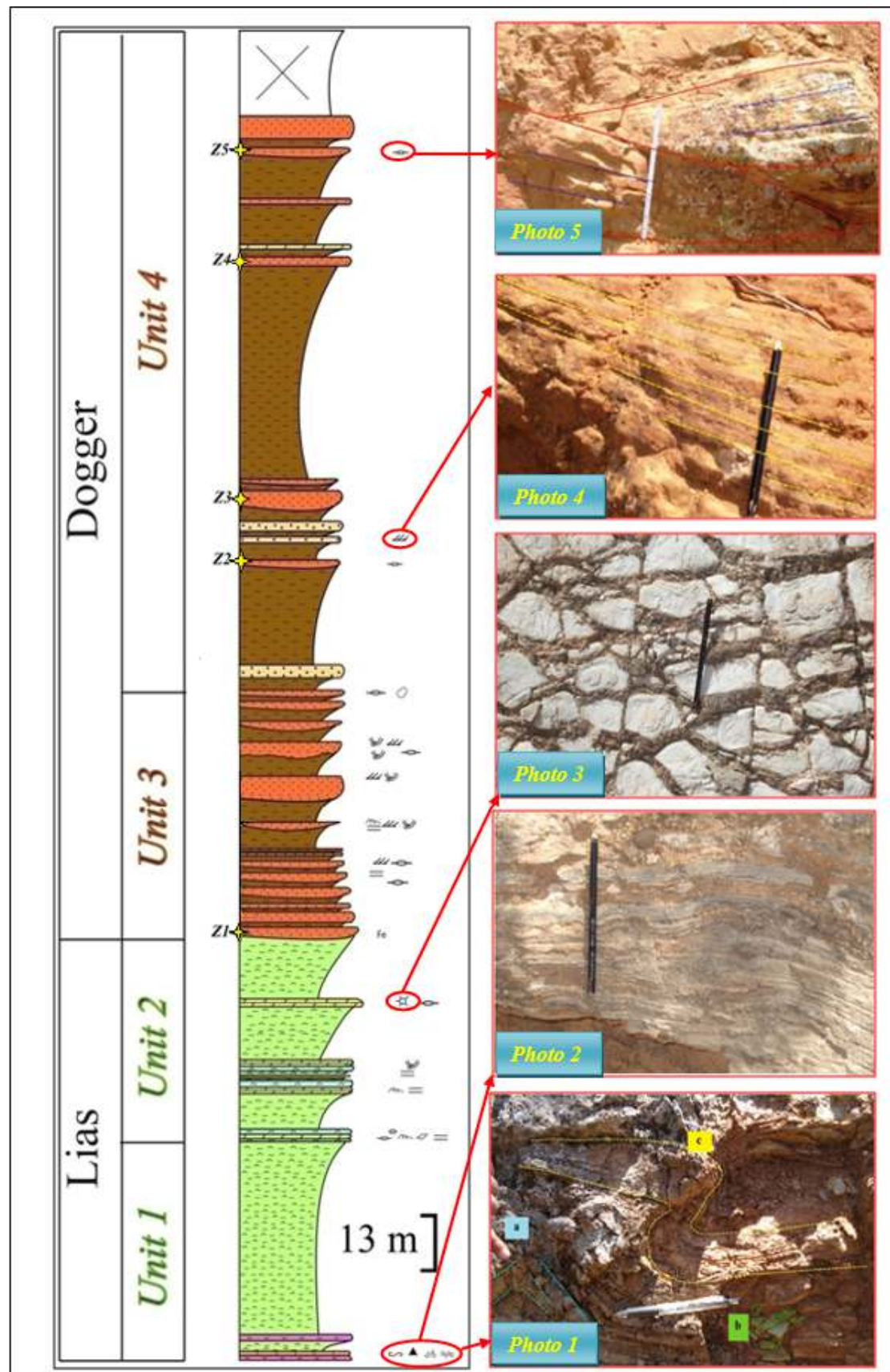


Fig. 3. Photo1: Banc stromatholithique avec les structures suivantes : a: Tipis / b: Brèche de dissolution / c: Slumps. Photo 2 : des ondulations stromatolithiques. Photo 3: Fentes de dessiccations au sommet de calcaire.

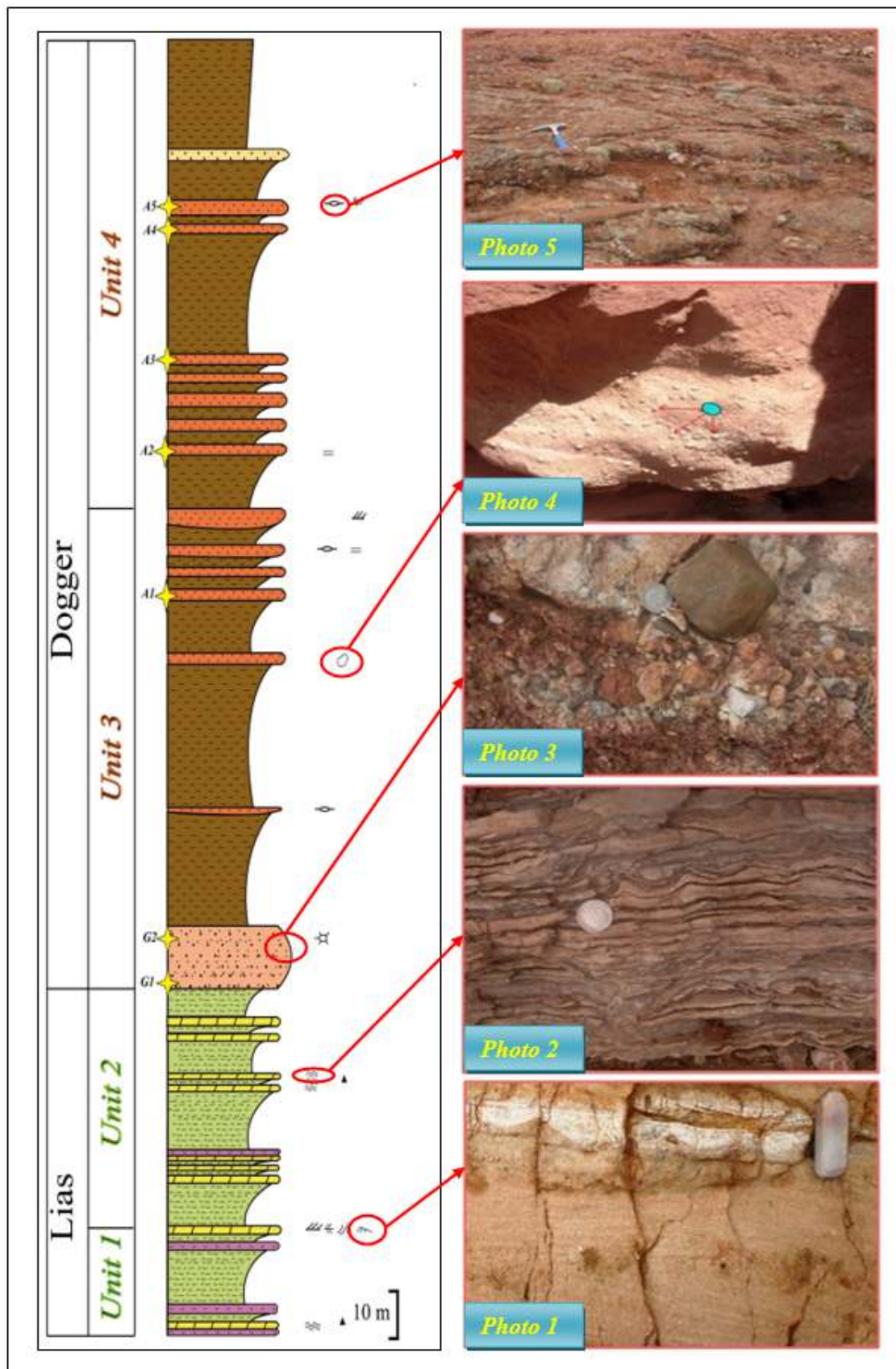


Fig. 4. Photo 1 : Rides asymétriques au niveau d'un banc dolomitique. Photo 2: Banc stromatholithique Photo 3: Conglomérat à éléments peu usés et une matrice détritique. Photo 4: Phénomène de Kerkoubs au niveau d'un banc gréseux. Photo 5: banc gréseux d'aspect lenticulaire avec des litages obliques.

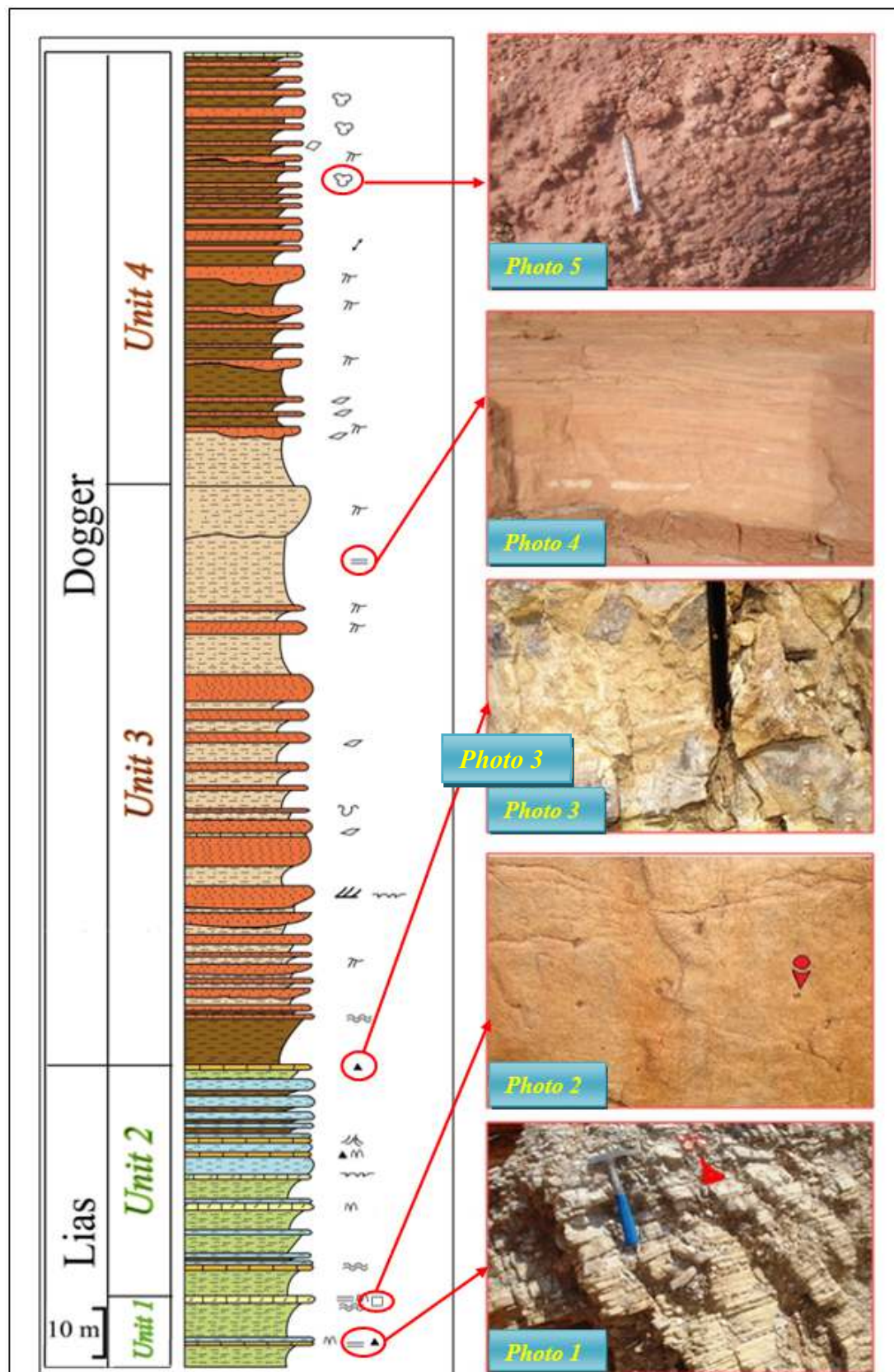


Fig. 5. Photo 1: Calcaire dolomitique à litages horizontaux à la base et bréchifié au sommet. Photo 2: Horizon silicifié bréchique au niveau du banc stromatholithique. Photo 3: Les vestiges de cube de sel Photo 4: Litages horizontaux au niveau d'un banc gréseux. Photo 5: Phénomène de Kerkoubs.

UNITÉ 2

Généralement, elle est formée par des calcaires dolomitiques jaunâtres à grisâtres en bancs centimétriques à métriques et lenticulaires, en alternance avec des bancs métriques du gypse saccharoïde et des niveaux silto- argileux rougeâtres, friables et plus épais à veinules de gypse secondaire. Les bancs de gypse primaires sont généralement métriques. Ils présentent différentes couleurs (blanchâtres, gris blanchâtres, rosâtres et même noirâtres) et différents aspects (saccharoïdes, nodulaires, lités, cristallin grossier à cristaux de sélénite) (**Figure 2 / Photos 1, et 2**). Les gypses secondaires sont centimétriques d'aspect fibreux. Ils suivent généralement les fractures quelque soit leur origine

Cette unité commence, par un banc de calcaire dolomitique lenticulaire à puissance de 1,10m dont la base contient des vestiges de cube de sel (**Figure 5 / photo 3**) et le sommet se termine par des rides moins différenciés. Ce banc présente fréquemment des litages horizontaux. Il se poursuit par un niveau gypseux saccharoïde avec des cristaux de sélénite.

Les bancs carbonatés contiennent une variété de structures et figures sédimentaires : brèche de dissolution, litages horizontales, obliques et entrecroisées, laminations algaires, birds eyes et fentes de dessiccation, parfois nous avons aussi des rides symétriques et des hering bones. La mesure de paléocourant a été faite sur des microchenaux, elle a mis en évidence une direction moyenne de N240.

Le banc dolomitique devient parfois très laminé avec des litages horizontaux et des rides asymétriques (**Figure 4 / photo 1**).

Au sommet, existe une alternance de niveaux centimétriques gypseux et dolomitiques qui se termine par l'apparition de petits chenaux de marée. Elle est suivie par des niveaux silto- argileux et dolomitiques.

Au-dessus de cette alternance se trouve une lentille dolomitique à puissance de 1,50m qui se termine par un niveau rosâtre à sommet montrant des polygones de dessiccation de grande taille (**Figure 3 / photo 3**).

A l'approche du sommet de l'unité les bancs carbonatés disparaissent.

L'étude en lames minces des dolomies de l'unité U2 a montré trois types de microfaciès :

- **Microfaciès 1 (Figure 6 / photo 1):** Ce sont des dolmicrites à dolomicrosparites, de texture mudstone, à grains de quartz subarrondis à arrondis, de taille moyenne de 40µm. L'abondance et l'alignement de ces grains augmentent vers le sommet. A ces grains, s'ajoute l'oxyde de fer qui prend deux aspects, en fleur et en bande continue.
- **Microfaciès 2 (Figure 6 / photo 2):** Ce sont des pelsparites à oolithes, de Texture grainstone. Aux pellets et oolithes qui les composent, s'ajoute un faible taux de gastéropodes en fragments recristallisés. Les pellets sont de taille variable, sans structures internes et de formes ovoïdes et sphériques, micritisés, dissoutes ou cimentés. Les oolithes sont de forme sphérique avec un nucleus à dominance des grains de quartz et un cortex régulier. La phase de liaison est carbonatée (ciment drusique) à la base et devient siliceuse au sommet.

De point de vue diagénétique, la dissolution est marquée par des vacuoles de dissolution, qui affectent les pellets, les oolithes, et le ciment. La cimentation se manifeste par un remplissage siliceux ou carbonaté des vacuoles. La dissolution – pression est présente avec des éléments figurés emboîtés les uns sur les autres (diagenèse tardive).

- **Microfaciès 3 (Figure 6 / photo 3).** C'est une oosparite à texture grainstone. Les oolites micritisés sont généralement ovoïdes, excepte quelques-uns qui sont allongés, ils sont caractérisés par un nucléus détritique et un cortex régulier. La dissolution - cimentation se manifeste à l'intérieur des oolithes comme dans l'espace intergranulaire. La pression – dissolution est approuvée par le contact concavo – convexe entre les grains.

Cette unité est interprétée comme un milieu à mer peu profonde de type lagunaire, calme avec des phases d'agitation (Energie relativement forte) et sous un climat chaud et aride. Cette lagune, lorsque les apports détritiques deviennent intermittents connaît un dépôt des carbonates. L'étude microscopique de ces derniers montre une contamination éolienne. Cette interprétation est confirmée par les structures suivantes :

- La présence de litages horizontales indique un dépôt côtier pendant des épisodes de haute énergie (**CLIFFON et al., 1971**).
- La présence des litages obliques et entrecroisés au niveau des carbonates est due aux phénomènes de migration des matériaux carbonatés sous des régimes relativement forts (**THOMSON, 1970**).
- La présence des rides est interprétée comme des caractéristiques des dépôts tidaux (**KLEIN, 1977**).
- La présence des phénomènes de dolomitisation, d'émersion, de dissolution des tests et des fentes de dessiccation, atteste un milieu intertidal (**FLOQUET, 1989**).

- La présence du quartz détritique indique une influence margino- littorale sur le milieu de dépôt. Les formes arrondies à subarrondies de certains grains quartzeux suggèrent une contamination éolienne des dépôts (**PURSER, 1975**).
- Cette Unité est marquée aussi par la présence des bancs de gypse primaire. Ils reflètent un milieu évaporitique de type sebkha (**SHEARMAN, 1978**).
- Les oolites ne se forment actuellement que dans des eaux peu profondes, très agitées, à fort degré d'évaporation (**BATHURT, 1971**).
- La présence d'oxyde de fer indique une émergence et probablement une discontinuité.

L'ENSEMBLE GRÉSO- SILTEUX ET MICROCONGLOMÉRATIQUE U3 ET U4

UNITÉ 3

Elle est formée par une alternance stratocroissante de bancs gréseux lenticulaires monotones (30 -40°) et des interbancs silto-argileux sans évaporites qui deviennent moins épais au sommet de cette unité. Les bancs gréseux à base érosive montrent une granulométrie fine à grossière et renferment une variété de structures sédimentaires (litages horizontales, obliques, entrecroisés et des rides asymétriques, des galets mous, des rides asymétriques et d'interférences (**Figure 2 / photos 3et 4**). Au sommet de cette unité, existe un banc gréseux qui contient divers formes de kerkoubes (**Figure 4 / photo 4**), ce sont des petites concrétions millimétriques indurées et plus ou moins sphériques (**CAILLEUX et SOLEILHAVOUP, 1976**), ils résultent en majeure partie d'une épigénie de la silice par de la calcite. Il marque le sommet de sous unité.

En allant vers le Sud-Ouest, cette unité débute par un banc conglomératique progradant vers ESE. Leur description macroscopique montre des éléments figurés (galets) hétérométriques, peu usés et polygéniques, un mauvais classement, une matrice plus abondante (**Figure 4 / photo 3**) et la présence de structures peu différenciées (présence de niveaux gréseux chenalisés). La morphométrie de ces galets reflète un milieu fluvial.

L'étude microscopique (**Figure 6 / photo 4**) des grès de l'unité 3 montre qu'il s'agit d'un grès à ciment carbonaté. Ce dernier est caractérisé par :

- Des mégaquartz monocristallins subarrondis à arrondis, abondent par rapport aux autres constituants ; des feldspaths qui sont essentiellement des orthoses et des plagioclases. Ils sont souvent altérés ; une partie lithique représentée par muscovite, grains phosphatés, glaucophane... ; un lisère d'impureté souligne la limite des grains détritiques ; une phase de liaison carbonatée (dolomie) : une granulométrie moyenne à grossière ; un bon classement ; une dissolution qui se manifeste par des vacuoles de dissolution et des golfes de corrosion au niveau des grains de quartz ;
- Une dolomitisation qui se manifeste par deux aspects : (Contemporaines de la sédimentation, attestée par la petite taille des cristaux de dolomie et diagénétique, plus tardive où la taille est plus grande) ; une silicification qui résulte de l'altération de feldspath et une pression dissolution illustrée par un contact concavo-convexe entre les grains.

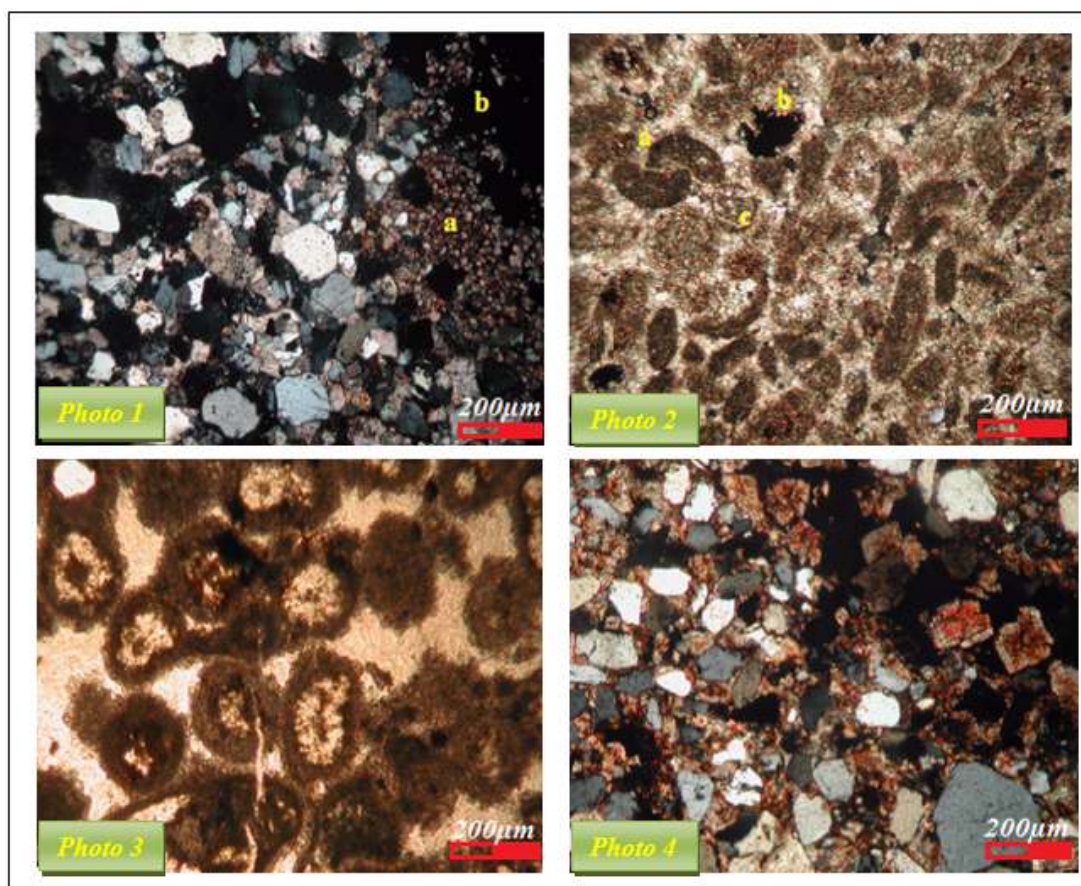


Fig. 6. Etude microscopique : Photo 1: Cristaux de dolomie de petite taille (a) entourant les vacuoles de dissolution (b) / Photo 2: Pelsparite à oolithes (a) de texture grainstone avec des phénomènes de dissolution (b), cimentation (c) et pression – dissolution. Photo3: Oosparite de texture grainstone avec de phénomènes de dissolution et cimentation. Photo 4: Cristaux de dolomie de grande taille piégé entre les principales constitutions de grès.

Comme interprétation de cette unité U2 :

- Le litage oblique à foresets espacés correspond au type 1 décrit par **BLUCK (1974)** (Litage oblique de grande échelle) et qui est caractéristique des écoulements en tresse. Le dépôt se fait par de forte migration ou accréation latérale dans les marges des barres fluviales (BLUCK, 1974 et MIAL, 1977).
- Les litages horizontaux (**Figure 5 / photo 4**), les rides, La dolomitisation et la silicification sont interprétés comme précédemment.
- Les golfes de corrosion des grains de quartz indiquent un climat chaud et aride.
- Le bon classement indique un long transport dans un milieu marin ou fluvial.
- L'altération intense de feldspaths signifie un enfouissement long.
- Les conglomérats vus vers le SW sont formés par des éléments peu usés et une matrice abondante témoignant d'un support matériel avec un écoulement laminaire et l'absence de la stratification et du granoclassement évoquant un dépôt rapide en masse. Ces caractéristiques témoignent d'arrivées fluviales proximales.

Tous ces indices permettent d'interpréter cette unité comme un milieu fluvial proche du domaine marin, en effet, il s'agit d'un comblement des chenaux fluviaux (base ravinante, laminations horizontales, obliques et entrecroisées, granodécroissance, aspect lenticulaires....) plongeant dans des dépôts silto-argileux. Ces sédiments gréseux ont subi ultérieurement un enfouissement (pression – dissolution), puis une émergence (dolomitisation, dissolution et silicification) sous un climat chaud et aride (Golf de corrosion).

UNITÉ 4

Cette unité est subdivisée en 2 sous unités :

Sous unité inférieure :

Cette sous unité est caractérisée par la dominance des bancs microconglomératiques avec passage gréseux, en alternance avec des niveaux silto _ argileux.

Elle débute par un niveau silto – argileux de 4m, suivie par une lentille microconglomératique.

A la base de la sous unité existe un banc métrique microconglomératique (la base) et gréseux fin (sommet) où il est associé à des litages légèrement incliné et entrecroisés (**Figure 3 / photos 4 et 5**). **Les éléments** du microconglomérat sont millimétriques à centimétriques, arrondis à subanguleux et hétérométriques avec un ciment détritique.

Cette sous unité se termine par un banc gréseux à 4m d'épaisseur, laminé à la base à grain fin au milieu, ces bancs gréseux contiennent divers formes de kerkoubes (**photo 5 / Figure 5**).

Sous unité supérieure :

Elle est caractérisée par la dominance des bancs gréseux stratocroissants, en alternance avec des niveaux silto – argileux avec la présence de des rides asymétriques (**Figure 2 / photos 5**).

Les bancs gréseux sont lenticulaires à base érosive et à granulométrie décroissante montrant des litages horizontaux et entrecroisés (**Figure 4 / photo 5**).

Cette sous unité se termine par de mauvaises conditions d'affleurements sur environ 16 m dues à des éboulis.

L'étude microscopique des grès de l'unité 4 montre les mêmes caractéristiques que l'unité 3, en effet, il s'agit d'un grès à ciment carbonaté caractérisé par un pourcentage important de grains de quartz , un feldspath très altéré et un faible pourcentage de partie lithique. Ces grès montrent une dolomitisation et une dissolution - pression (Golf de corrosion et un contact concavo- convexe).

L'étude morphoscopique des grains de quartz de l'échantillon (**Z4 ; Figure 3**) montre les constatations suivantes (**Figure .7**)

- Un pourcentage faible des grains de quartz non usés du côté fin qui devient constant du côté grossier.
- Un pourcentage toujours dominant des émoussés luisant, en allant des fins vers les grossier.
- Une faible augmentation du pourcentage des grains arrondis du côté grossier par rapport du côté fin.

On peut conclure que les sédiments ont subis un long transport dans un milieu aquatique avec des contaminations par d'autres apports extérieurs.

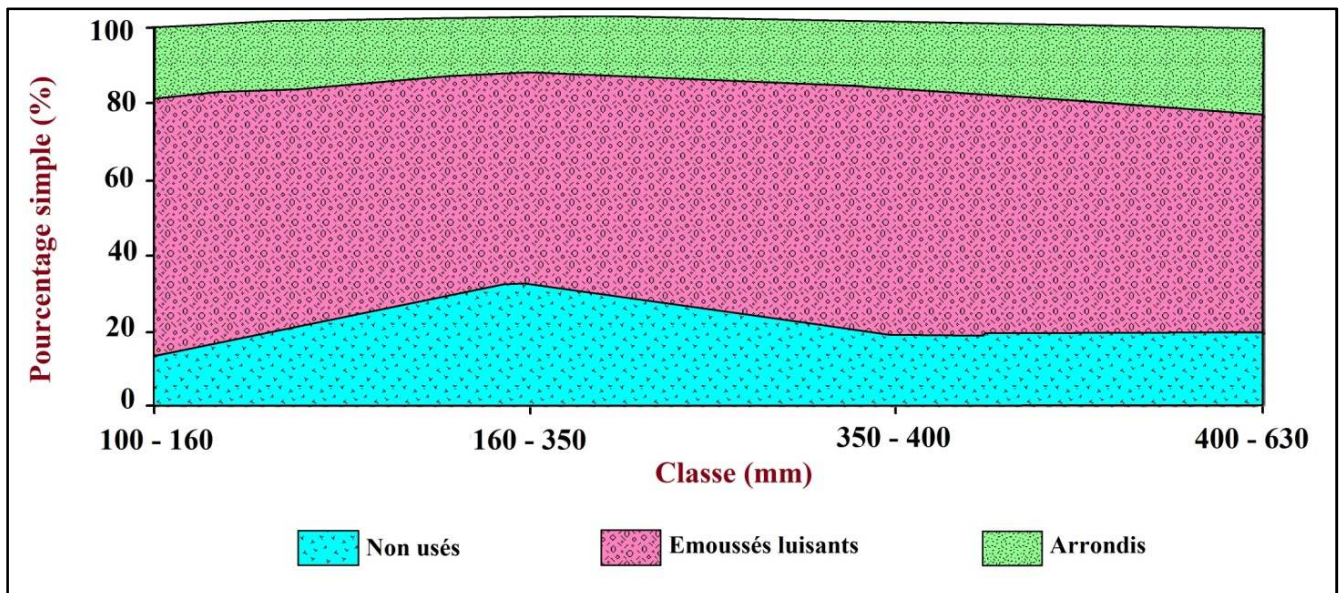


Fig. 7. Résultat des analyses morphoscopiques de l'échantillon Z4 au niveau d'U4.

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES DES UNITÉS U3 ET U4 :

L'étude granulométrique faite au niveau des échantillons **Z1** (U3), **Z2, Z3, Z4 et Z5** : (U4)} des bancs gréseux de la coupe C3 d'Ait Ben Ouissadene a montrée les résultats suivants (**Figure. 8**) :

- Les courbes de fréquences simples sont unimodales et redressées, ce qui indique un bon tri, une bonne maturité et donc une homogénéité des sédiments, ainsi un bon classement. Excepte l'échantillon **Z3** qui présente une courbe étalée, donc un mauvais classement.
- Un bon classement des échantillons indique un dépôt marin ou fluviatile, après un long transport.
- Les courbes cumulatives à partir du calcul des indices montrent :
- Des sables fins à moyens.
- Une asymétrie négative avec un mauvais classement du côté des fins et un bon classement du côté des grossiers, donc un milieu turbulent.

Le diagramme de FRIEDMAN " Relation Ecart-type ($\sigma\Phi$), Moyenne ($M\Phi$) montre que :

L'échantillon **Z1** (U3 ; Dogger) appartient au secteur " rivière " (**Figure 9**).

Les autres échantillons **Z2, Z3, Z4 et Z5** (U4 ; Dogger) sont situés dans le secteur " mixte ".

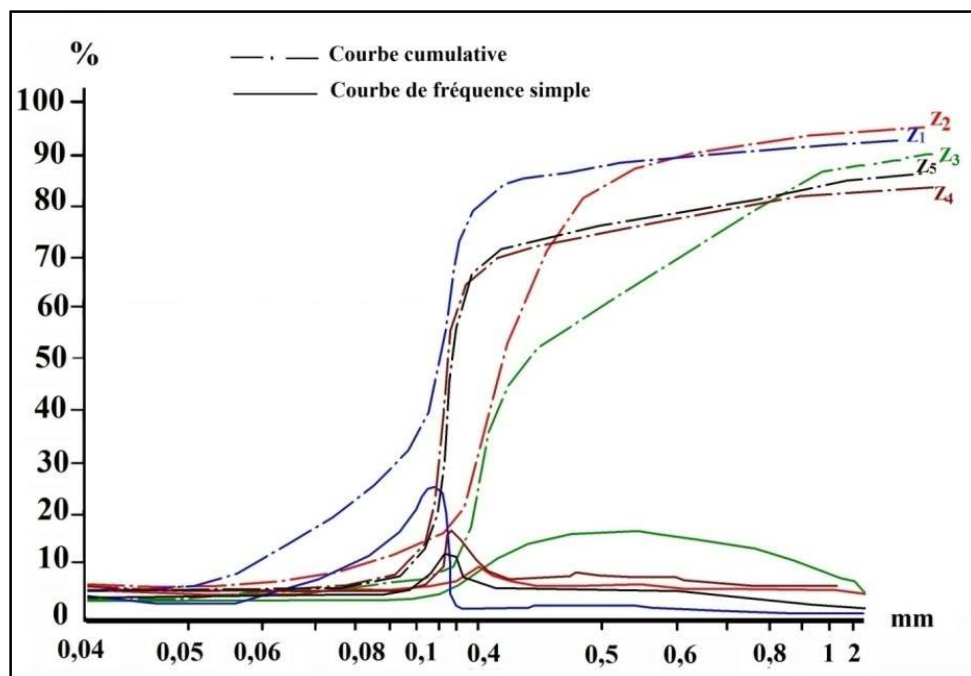


Fig. 8. Résultat de l'étude granulométrique.

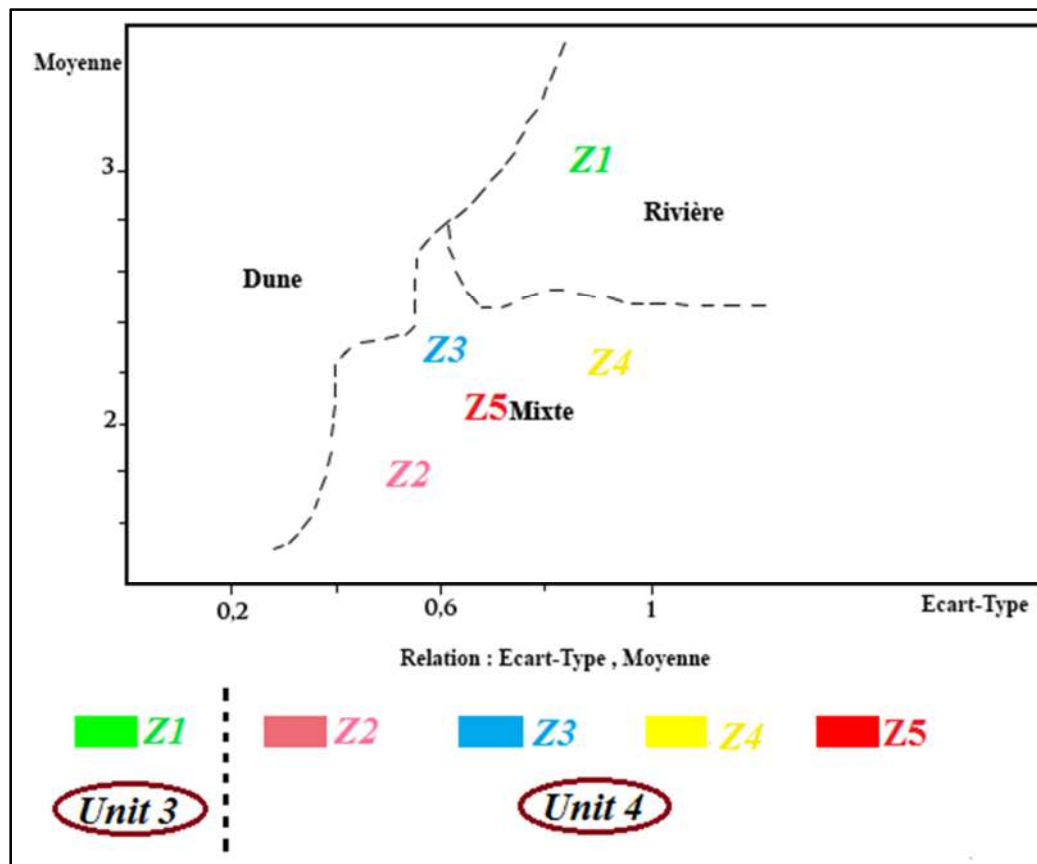


Fig. 9. Courbes granulométriques des grès de la coupe Ait Ben Ouissadene (U3 : Z1) et (U4 : Z2, Z3, Z4 et Z5) et leur localisation dans le diagramme de Friedman

En conclusion, les sédiments gréseux montrent une évolution d'un milieu fluviatile avec turbulence (échantillon Z1 de U3) à un milieu marin (échantillon Z2, Z3, Z4 et Z5 de U4).

D'autres analyses granulométriques ont été effectuée sur deux échantillons (E1, U3 ; E2, U4) levés à partir des bancs gréseux de la coupe C1 (Elmers).

Les niveaux gréseux de cette coupe sont caractérisés par des paramètres granulométriques (Figure 9) qui montrent que :

- Les courbes de fréquences simples sont unimodales, ce qui renseigne sur un sédiment de bonne maturité.
- un bon classement indiquant un milieu marin ou fluviatile.
- l'asymétrie est négative ($Sk < 1$) est due à un hydrodynamisme très fort.
- le diagramme de FRIEDMAN montre que le sédiment E1 (U3) est localisé dans le secteur «rivière», tandis que, le sédiment E2 (U4) est situé dans la zone «plage et dune» (Figure 10).

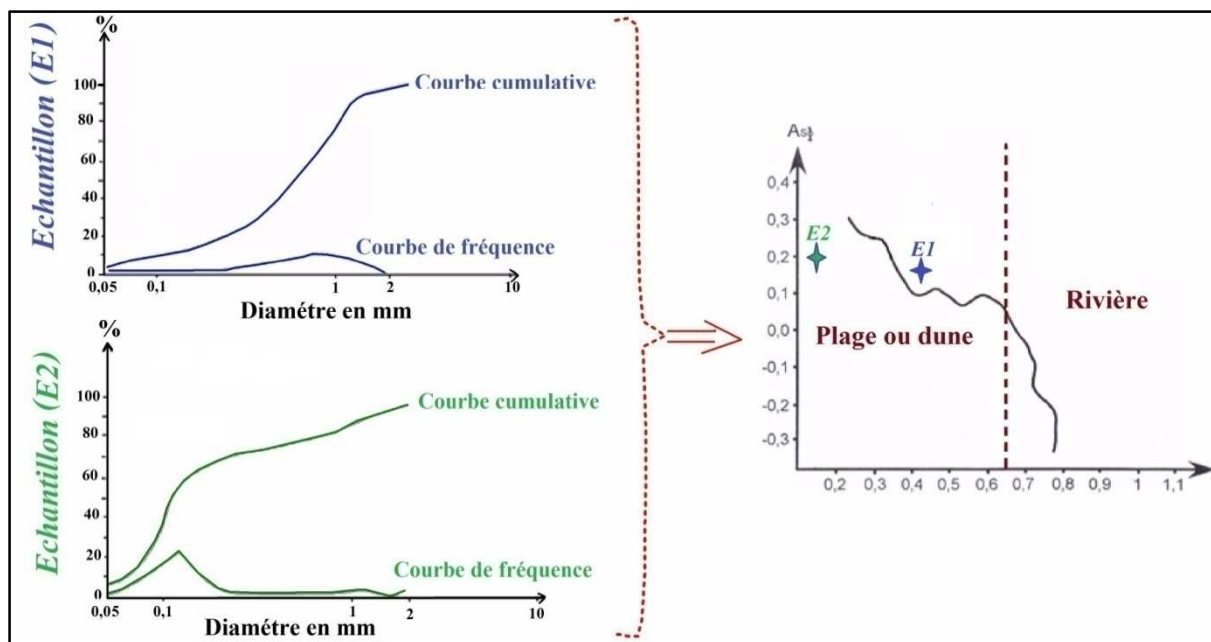
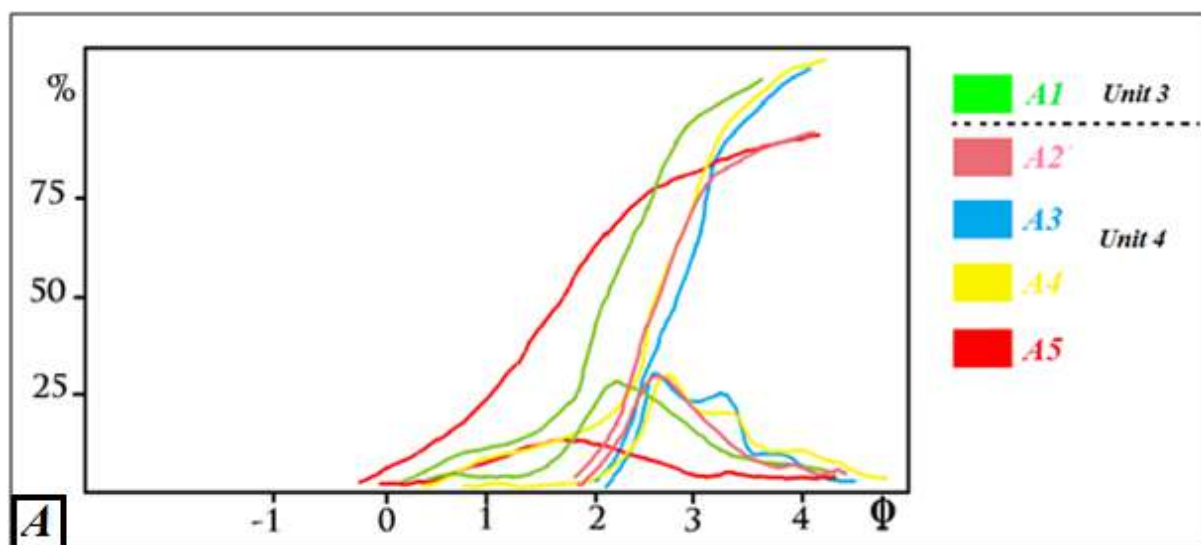


Fig. 10. Courbes granulométriques des échantillons gréseux de la coupe C1 (E1 et E2) et leur localisation dans le diagramme de FRIEDMAN

Les analyses granulométriques effectuées sur les niveaux gréseux de la coupe Amanouz C2 (Figure 11):



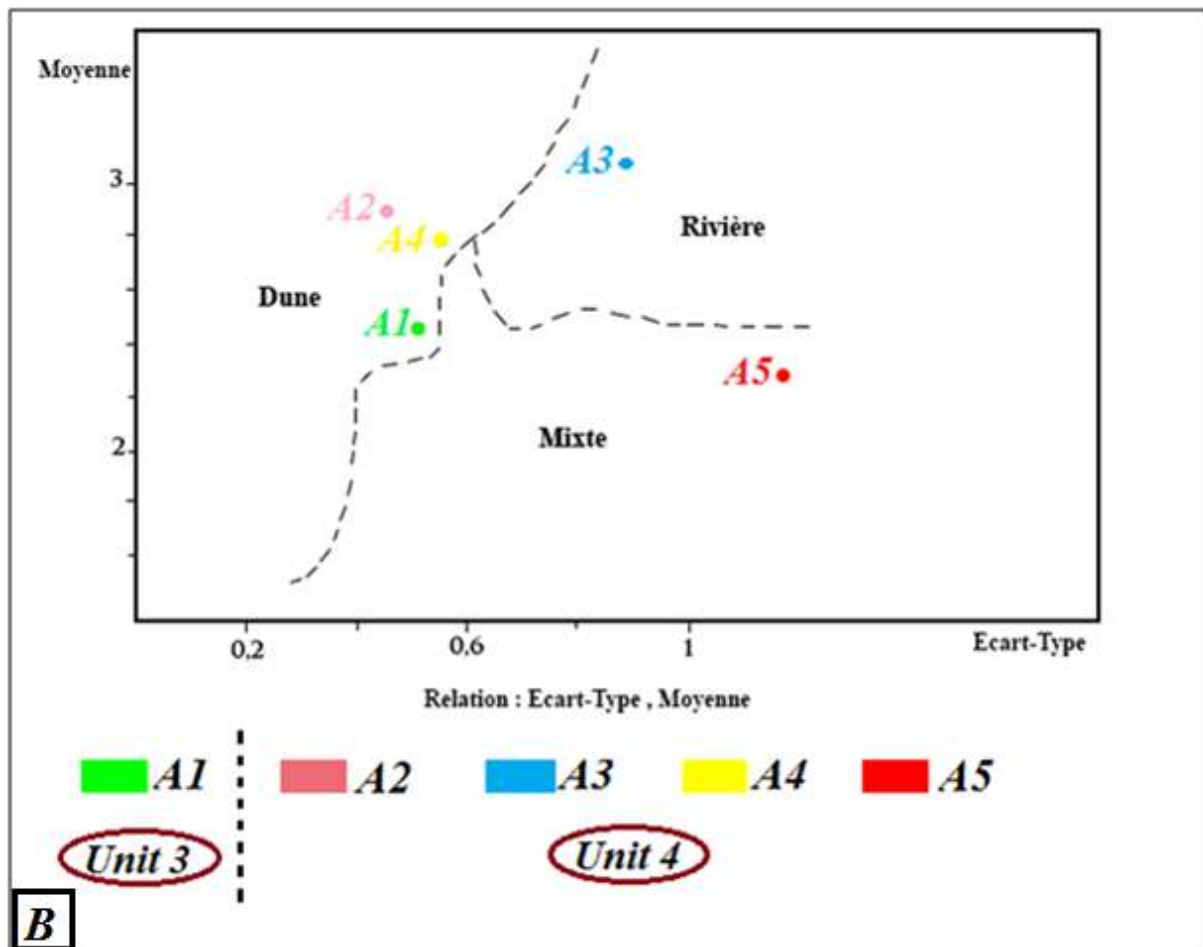


Fig. 11. A ; Courbes granulométrique des grès de la coupe d'Amanouz (U3 : A1 et U4 : A2, A3, A4, A5). B ; leur localisation dans le diagramme de FRIEDMAN

La combinaison de plusieurs résultats de paramètres granulométriques permet d'avoir une approche du milieu de dépôt des niveaux gréseux. Ainsi, il apparaît que ;

- Les courbes de fréquences simples sont généralement unimodales, ce qui indique un bon tri et une bonne maturité du sédiment. Au niveau des échantillons A3 et A4 (base de U4 du Dogger), la plurimodalité indique un mauvais tri et, par conséquent, un sédiment plutôt fluviale ;
- Le bon classement des échantillons indique un dépôt marin ou fluviatile, après un long parcours ;
- L'asymétrie négative et le faciès parabolique des courbes canoniques de rivière indiquent une mauvaise répartition du classement, due à une turbulence qui remanie le sédiment après dépôt. L'échantillon A3 montre une asymétrie de 1 et une courbe canonique de rivière logarithmique : cela traduit un dépôt par excès de charge d'un courant fluviatile ou marin ;
- Le diagramme de Doeglas (1968) caractérise un grès fin ;
- Le diagramme de Passega (1969) indique tantôt un transport par roulement et suspension, caractéristique d'un courant turbulent et tantôt par suspension gradée. Cette variation témoigne d'un milieu marin ou deltaïque (Figure 12)

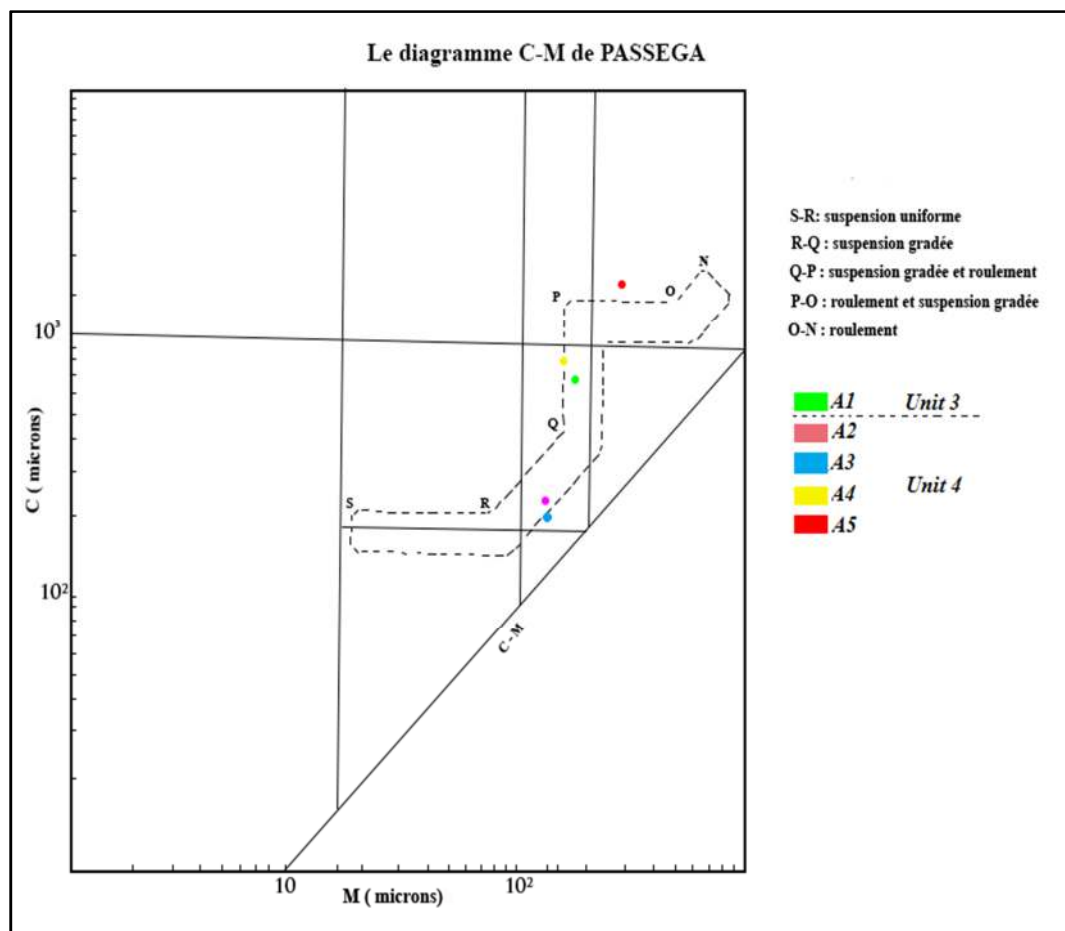


Figure 12 : Localisation des résultats granulométriques sur le Diagramme de Passega.

- Le diagramme de Friedman montre que l'essentiel du sédiment est situé dans le secteur « dune » ;
- En conclusion, nous avons un sédiment apporté par un appareil fluvial et déposé en milieu de dunes littorales.

L'étude morphométrique des galets échantillonnés au niveau du banc conglomératique basal du Dogger (U3, Coupe d'Amanouz) a donné les résultats suivants (**Figure 13**):

- La projection des indices moyens d'émoussé (I) et d'aplatissement (A) dans le diagramme de TRICART, détecte que ces galets se sont déposés dans milieu est fluvial.
- Cet ensemble est interprété comme une évolution d'un milieu fluvial à un milieu margino – littoral.

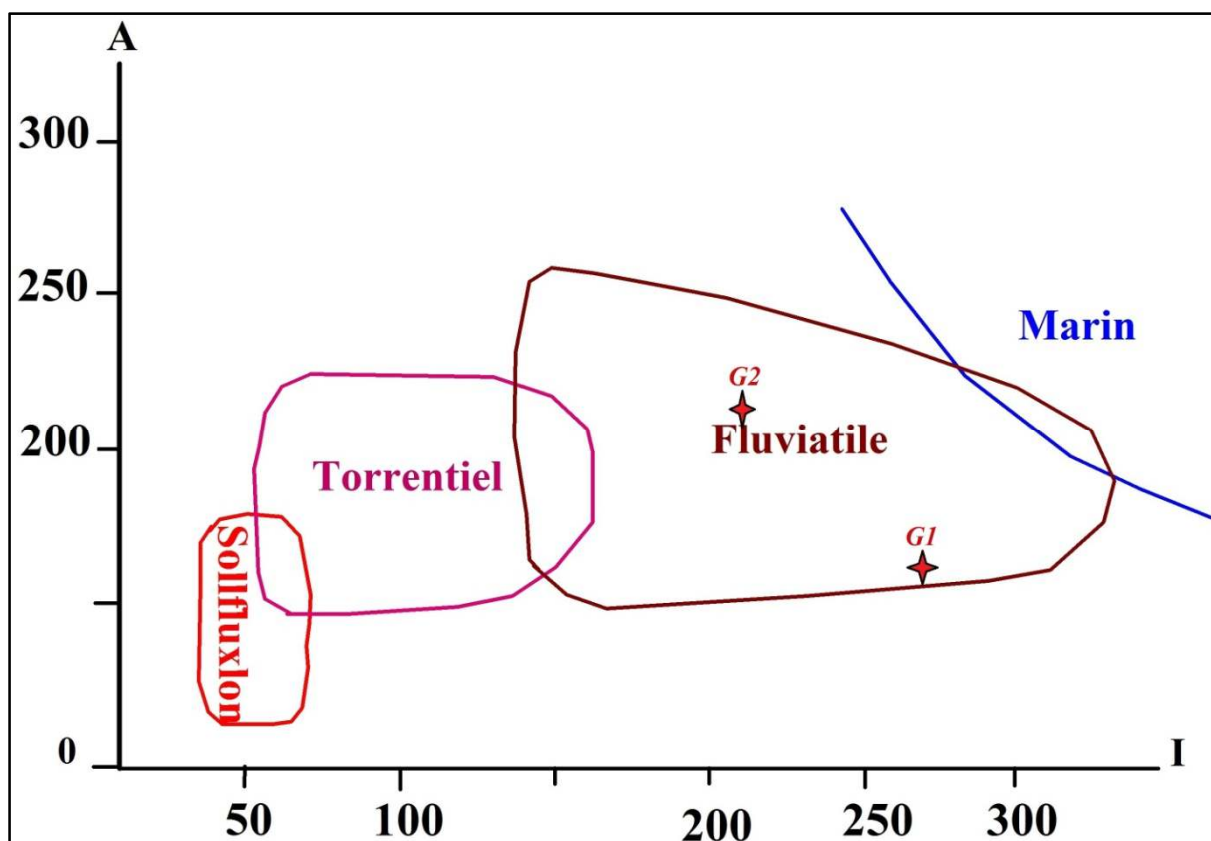


Figure 13 : Localisation (Am et Im) des galets de la base de Dogger (U3, Coupe d'Amanouz) dans le diagramme de TRICART (1951).

L'ensemble grés-silteux et microconglomératique U3 et U4 (Dogger) reflète une plaine d'inondation avec des chenaux de comblement à dynamique fluviale qui évolue à un milieu margino-littoral. Des épisodes d'exondations se manifestent par la présence des galets mous repris dans les grés. Les encroûtements calcaires existent sous forme soit de petits horizons centimétriques, soit de ciment carbonatés dans les grés à grains grossiers, ils sont interprétés comme une activité de pédogenèse dans un climat aride à forte saison sèche (MILLOT *et al.*, 1977; PAQUET, 1970).

Signification du cortège argileux

Des analyses diffractométriques (Figure 14) ont été effectuées sur les échantillons argileux du Dogger.

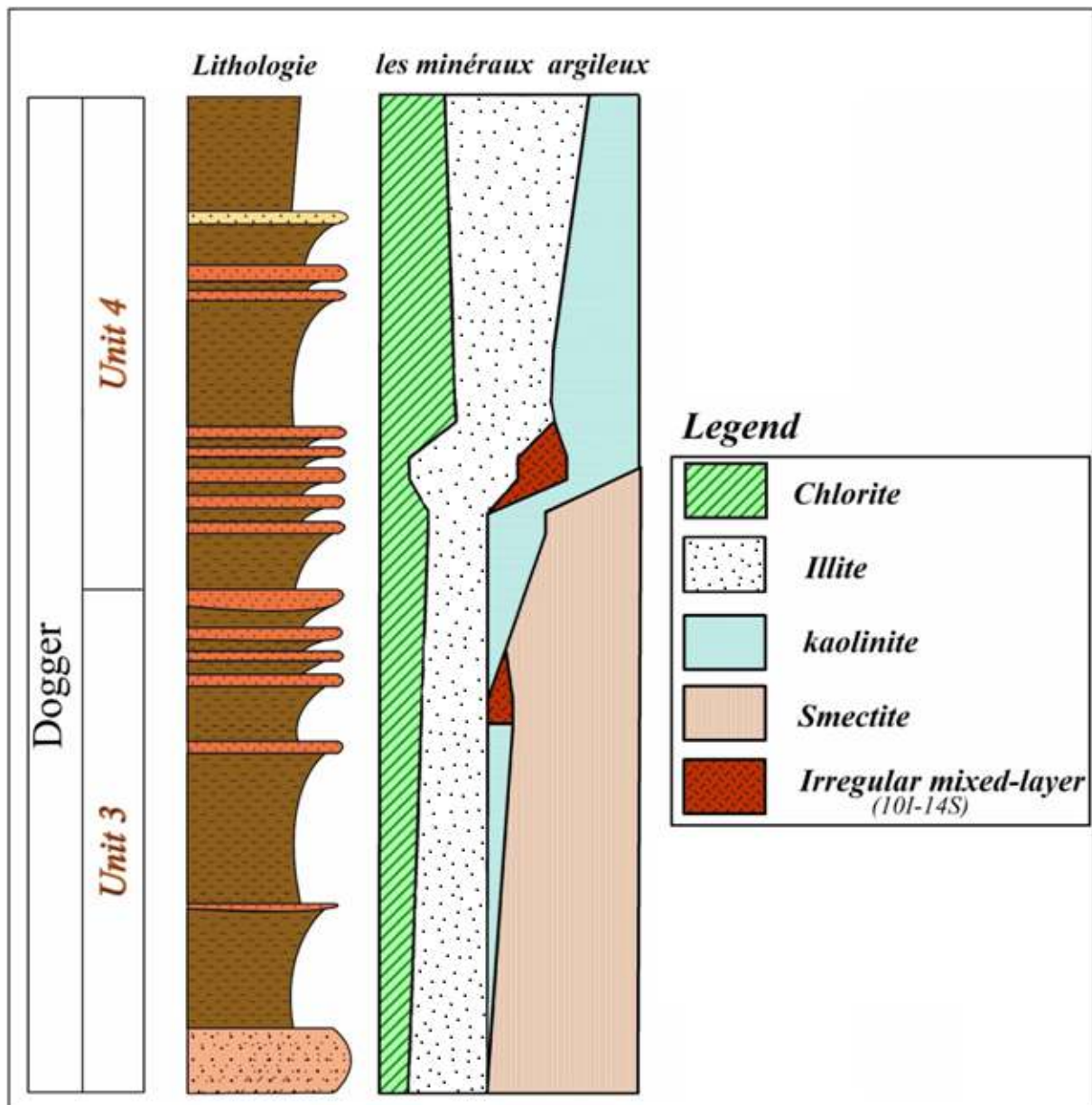


Figure 14 : Etude minéralogique du Dogger la coupe d'Amanouz.

D'après les résultats présentés ci-dessus (Figures 15, 16, 17, 18), on peut déduire :

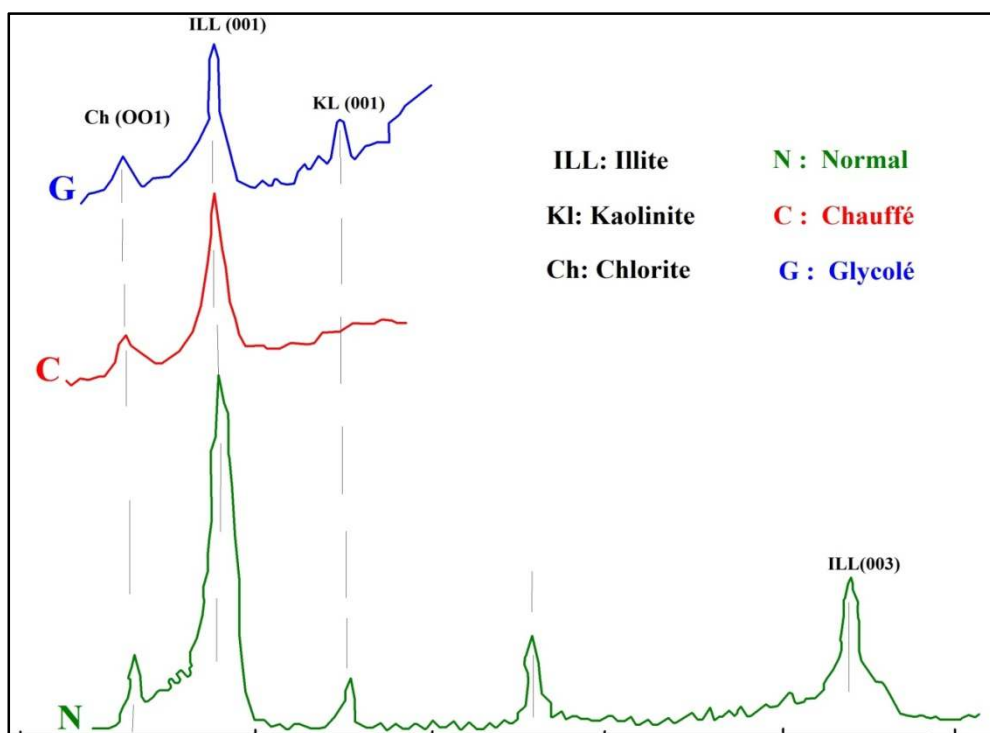


Figure 15: Diffractogramme type présentant les minéraux argileux du Dogger de la coupe C1.

* L'illite (**Figure 16**): elle est présente dans toutes les coupes, souvent en quantité très importante. Son abondance suggère une active érosion de l'arrière-pays. Elle proviendrait vraisemblablement de l'altération superficielle des minéraux phylliteux préexistants. Son association avec la kaolinite dans la plupart du Dogger semble indiquer un apport fluvial des régions de piémont (MILLOT, 1964).

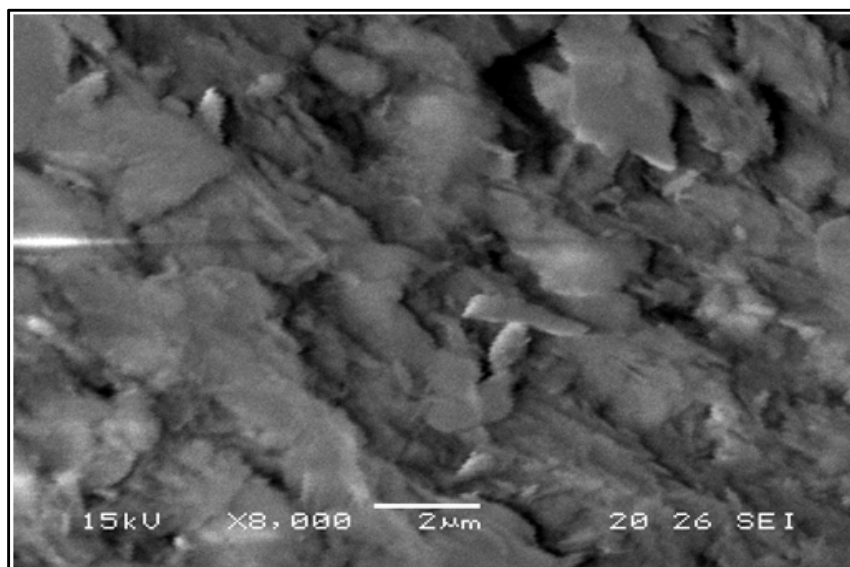


Figure 16: l'image présente des micro textures homogènes sur toute la surface de l'échantillon, ce qui renseigne sur la présence de l'illite

* La chlorite : elle est en faible quantité (5-25%), mais elle est constante. Ceci pourrait suggérer une érosion de domaines émergés à relief accentué. Elle proviendrait ainsi des séries anté-jurassiques riches en chlorite (IZART, 1990). Mais compte tenu des multiples facteurs qui influencent son réseau cristallin, une genèse partielle par transformation de la smectite peut être envisagée (DAOUDI et al., 1988).

* La kaolinite (**Figure 17**): est un minéral d'altération météorique des régions à alternance de saisons humides et chaudes (PAQUET, 1970 i MILLOT, 1964). Ainsi, elle est essentiellement un minéral caractéristique de l'altération superficielle en milieu lessivé acide. C'est l'existence d'un tel milieu dans les régions à climat chaud et humide qui justifie l'abondance de la kaolinite dans leurs profils pédologiques (DYNOYER DE SEGONZAC, 1969). Des phénomènes de néoformation diagénétique de la kaolinite dus à la circulation des solutions diluées sont également connus (MILLOT, 1964). Le simple diagnostic de la kaolinite aux rayons X sans l'examen au microscope électronique à balayage par exemple, ne permet pas une détermination précise de sa propre nature. Toutefois, le pourcentage de la kaolinite est relativement faible et, d'autre part elle est associée à des niveaux de siltite et d'argile. Par conséquent l'origine de cette kaolinite est probablement détritique et traduirait des reliefs relativement déclives sous des climats chauds et relativement hydrolysant.

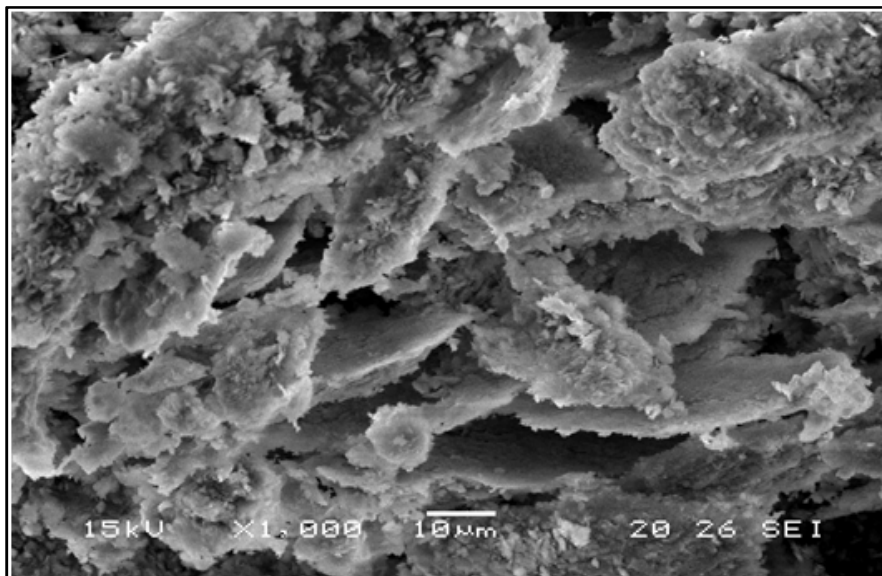


Figure 17: l'image présente des feuillets, caractéristique de la kaolinite.

* La smectite (**Figure 18**) : elle peut être héritée ou néoformée à partir d'autres minéraux ou ions en solution, mais avec la méthode de traitement habituelle, il n'a pas été possible d'établir la part d'héritage et de néoformation. Toutefois, d'après PAQUET (1970), la majorité de ces minéraux peut se former actuellement dans des vertisols et sous climats chauds à fort contrastes saisonniers de l'humidité.

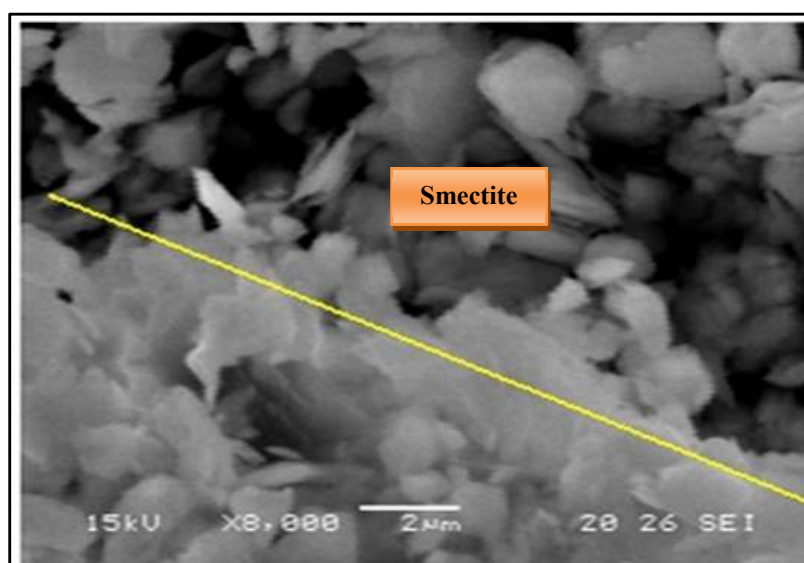


Figure 18: Image présente deux textures différentes, une renseigne sur la présence de la Smectite l'autre peut être soit des impuretés soit un autre minéral argileux

* Les interstratifiés irréguliers (10I-14S): ils sont constitués de feuillets illitiques et de feuillets de smectite représentant des stades d'évolution intermédiaires des minéraux phylliteux. Ils sont peu développés dans les coupes, pratiquement à la base de la série,

Le cortège argileux présente une composition minéralogique presque identique où domine l'illite. Cette abondance en illite et la présence constante de la chlorite témoignent de l'importance de l'érosion mécanique subie par les roches-mères composant les séries anté-jurassiques. Ces minéraux détritiques proviendraient du massif ancien et de la série siliciclastique triasique du Haut-Atlas. La smectite à la base atteste d'une atténuation de l'érosion due à des reliefs aplanis, stables et même favorables au confinement.

L'essai de caractériser le milieu de dépôt du Jurassique (Lias et Dogger) dans la cuvette d'Ouanina (Ait Ourir) afin de tenter une reconstitution paléogéographique, a permis de réaliser une corrélation disposés suivant les directions NE et SW (flanc NW) pour les coupes de C1, C2 et C3 ; et SW (flanc SE) pour la coupe C4 (**Figure 19**).

L'analyse des variations latérales des épaisseurs et l'agencement spatio-temporel des différentes unités lithostratigraphiques des coupes, nous a permis de lever les constations suivantes :

Ensemble silto – carbonato – évaporitique (Lias)

Unité 1 : Cette unité présente des faciès constants de carbonates (base) et d'argile à évaporites (sommet) dans les trois premières coupe : C1, C2 et C3, contrairement à la coupe C4 qui contient comme faciès, seulement l'argile à évaporites. Toutefois, les épaisseurs diminuent progressivement du flanc NW vers flanc SE.

Unité 2 : Les faciès représentant cette unité sont : Les carbonates dolomitiques, les évaporites. Ils sont présentés dans toutes les coupes.

Les épaisseurs varient d'une coupe à l'autre, en effet, nous constatons une dilatation des dépôts à dominance évaporitique au niveau de la coupe C2 et C3, contre la coupe de C4 et C1 qui ont une épaisseur relativement constante.

Cette dilatation peut rapporter à une légère subsidence affectant les coupes C2 et C3.

Ensemble grés – silteux et conglomératique (Dogger)

L'ensemble du Dogger (U3 et U4) est composé par l'agencement de silts argileux, grès et microconglomérat. Ces faciès s'organisent en différentes séquences le long des quatre coupes.

Unité 3 : Les épaisseurs augmentent du flanc NW vers le flanc SE (coupe C3 à 110m).

Unité 4 : Les épaisseurs sont délatées au niveau de C4, presque constantes au niveau de C1 et C3, contrairement à la coupe C2 qui présente une réduction d'épaisseur (30m).

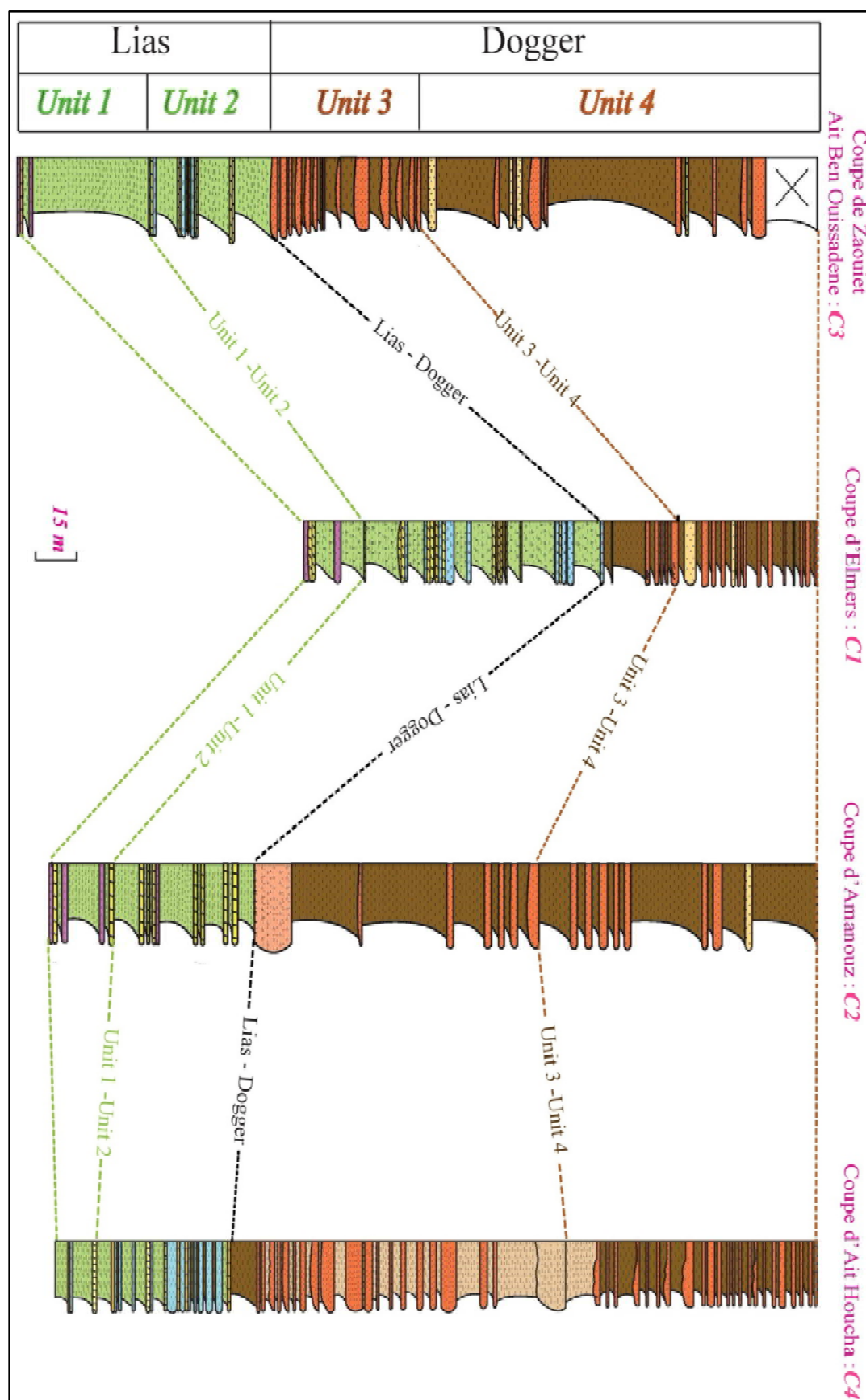


Figure 19 : Corrélation entre les 4 coupes

PALÉOGÉOGRAPHIE DE LA CUVETTE D'OUANINA AU JURASSIQUE

En relation avec la paléogéographie globale du Haut Atlas au Jurassique, la zone des cuvettes d'Ait Ourir n'est qu'une petite partie qui enregistre leur évolution tectono – sédimentaire.

De point de vue sédimentologique, la cuvette d'Ouanina au Lias (**Figure 20**) est marquée essentiellement par des argiles silteuses rouges à évaporites, sur lesquels se développent des calcaires dolomitiques.

L'épaisseur des unités de cet ensemble liasique est variée latéralement, en effet, au niveau de l'unité 1, en allant du flanc NW vers le flanc SE, elle diminue et donc la subsidence est moins importante à absente. Tandis que les conditions s'inversent dans l'unité 2, la subsidence est variable tantôt augmente et autre diminue. .

L'évolution des environnements dans les dépôts de cet ensemble peut être résumé comme suite :

En premier lieu, l'installation d'un milieu peu profond intertidal à la base de Lias, attesté par la formation du banc stromatolithique. Ce milieu connaît des périodes d'émersion confirmés par la présence des indices suivants : Tipis, brèche de dissolution, sheet craks, birds eyes ...) et une contamination éolienne indique leur proximité d'une dune littoral. Puis les changements de conditions de sédimentation permet leur évolution vers un milieu côtier supratidal lagunaire (argile à évaporites) caractérisant par une forte concentration des saumures interstitielles, relativement enrichis en sulfates.

En deuxième lieu, le milieu est lagunaire interrompue par des incursions marines matérialisées par des bancs carbonatés souvent stromatolithiques et connaît ainsi une contamination éolienne (grains de quartz subarrondis à arrondis).

En conclusion, le Lias dans la cuvette d'Ouanina est un milieu lagunaire (intertidal supérieur à supratidal) avec une barrière (dune littoral).

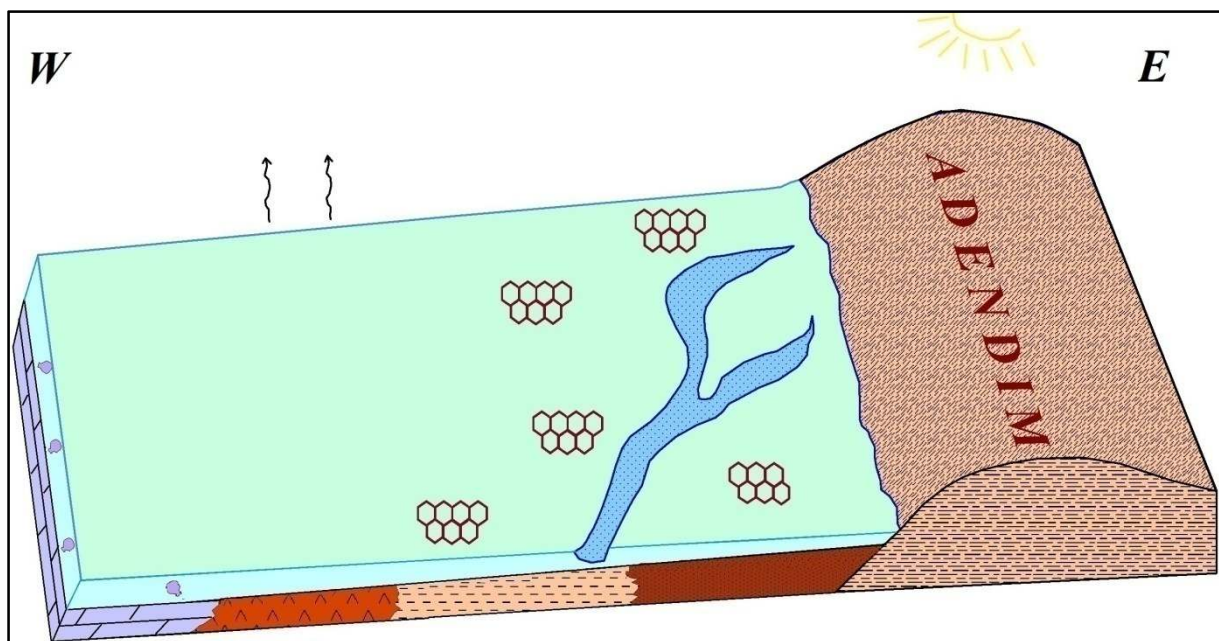


Figure 20 : Paléogéographie de la cuvette de Ouanina au Lias

Au Dogger (**Figure 21**), les faciès qu'on peut rencontrer dans la cuvette d'Ouanina sont les argiles sans évaporites, grés, microconglomérats et conglomérats. Ces faciès comme le cas de Lias présentent une variation latérale d'épaisseur soit au niveau du flanc NW ou SE.

Dans le flanc NW, la subsidence présente une certaine irrégularité graduée du NE vers le SW.

Dans le flancs SE, la subsidence est devenue remarquable.

De point de vue environnement, le Dogger dans la cuvette d'Ouanina est fluvial, Il s'agit d'un comblement de chenaux dans une plaine d'inondation. Ces chenaux présentent des caractères sur leur séjour dans une zone vadose, plusieurs indices plaident dans ce sens.

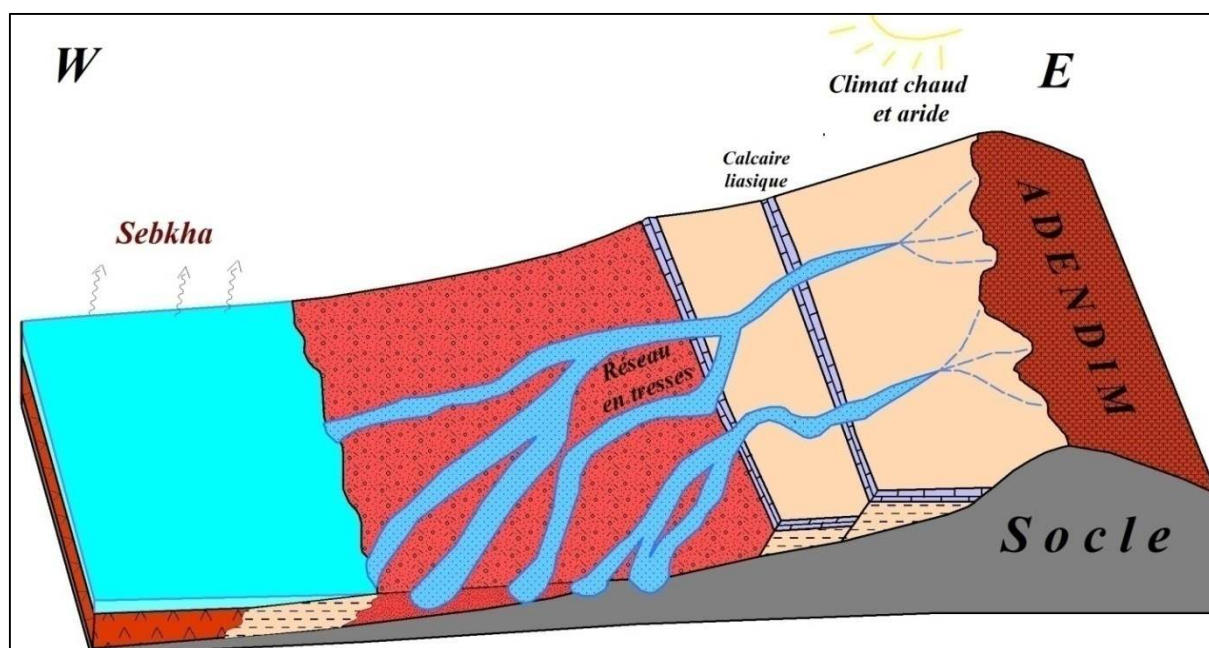


Figure 21: Paléogéographie de la cuvette de Ouanina au Dogger.

CONCLUSION

Comme conclusion on peut dire que pendant le Lias (**U1, U2**) et le Dogger (**U3, U4**), les dépôts s'organisent pour former des mégaséquences régressives. Ainsi on a :

- Une unité Silto – Argileuse à Evaporites (**U1**) caractérise par des dépôts d'un milieu supérieur à supratidal avec des phases d'émersion, sous un climat chaud et aride et un hydrodynamisme faible.
- Une unité Carbonato – Evaporitique (**U2**) qui enregistre un milieu à mer peu profonde de type lagunaire, calme avec des phases d'agitation et sous un climat chaud et aride.
- Des unités Argilo – Silto – Gréseux (**U3, U4**) montrant des caractéristiques fluviale , des lentilles gréseuses plongeant dans une plaine d'inondation qui évolue vers un milieu margino-littoral.

REFERENCES

- [1] ALDERMAN A. R. (1965) – Dolomitic sediments and their environment in the South – East of South Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 29, p. 1355 – 1365.
- [2] ALGOUTI AB. (1987) – Etude sédimentologique du Lias du versant Sud du Haut Atlas de Marrakech (Telouat –Igreb) (Maroc). Thèse 3^e cycle, 137 p. Univ. Cadi ayyad, Marrakech (Maroc).
- [3] ALGOUTI AB. et BEAUCHAMP J MAHDOUDI M. L. (1987) – Faciès littoraux et séries rouges continentales jurassiques du versant Sud du Haut Atlas de Marrakech P.I.C.G.U.N.E.S.C.O. n° 210, PP.1-14. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 43, pp.1-38.
- [4] ALGOUTI A. CHBANI B. Et AZZAOU K.A. (1991) – Evolution paléogéographique du Crétacé supérieur du versant Nord du Haut Atlas (Maroc). 9^{ème} colloque des bassins sédimentaires marocaine, Méknes, pp. 9-11.
- [5] ALGOUTI A. ALGOUTI A. CHBANI B. et AZZAOU K.A. (1992) – Paléomilieu Crétacé supérieur de la cuvette d' Ouanina ("zone des cuvettes" d'Ait Ourir, Maroc). 10^{ème} colloque des bassins sédimentaires marocaine, Rabat, pp. 52-54.
- [6] ALGOUTI A. ALGOUTI A. AZZAOU K.A et CHBANI B. (1993) – Exemple de dépôts de paléosebkha littoral du Sénonien de la zone des cuvettes" d'Ait Ourir (Haut Atlas de ALGOUTI A. (1999) – Le Sénonien du Haut Atlas occidental (Maroc) : sédimentologie, stratigraphie séquentielle, biostratigraphie et évolution géodynamique. Thèse Dct. Univ. Cadi Ayyad. Marrakech). *Revue de la faculté des sciences Semlalia – Marrakech*, n° 7, pp. 197).
- [7] AMBROGGI et NELTNER (1952) – Haut Atlas et Anti Atlas occidentaux, Livret guide, excurt. C. 33, 19^{ème} congrès Géol. Interne, Alger. 12, p. 65 Série Maroc.
- [8] AMBROGGI R. (1963)- Etude géologique du versant méridional du Haut Atlas Occidental et la plaine du sous. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n°157,332 p.

- [9] ARBEY F. (1980) – Les formes de la silice et l'identification des évaporites dans les formations silicifiées. Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine 4, 1, pp 309 – 365.
- [10] AZZAOU K.A. (1983) – Etude lithostratigraphique. Sédimentologique et cartographique du Sénonien du jbel Sour (Haut Atlas de Marrakech). Mém. C.E.A. Univ. Caddi Ayyad, Marrakech.
- [11] AZZAOU K.A. (1984) - Le Sénonien du jbel Sour (versant Nord du Haut Atlas de Marrakech). Bull. Fac. Sci. Marrakech (Sect. Sci. Terre) 1984. 2 :102-104.
- [12] BATHUR (RGG). - (1971) – Carbonate sediment and their diagenesis. Elsevier. 620 p.
- [13] BEAUCHAMP J. et PETIT J.P. (1982) - sédimentation et taphrogénese triasique au Maroc : l'exemple du Haut Atlas de Marrakech. Bull. Centres Rech., Explor. Prod. Elf Aquitaine, 7(1), pp.389-397.
- [14] BEAUCHAMP J. (1983) – Le Permien et le Trias marocains, quelques acquisitions récentes. Bull. Fac. Sci., Marrakech, num.spéc.1, Sec. Sci. Ter., pp.1-21, 8 Fig.
- [15] BEHRENS M., KRUMSIEK K., MEYER D.E., SCHAFER A., SIEHL A., STETS J., THEIN J. et WURSTER P. (1987) – Sedimentations – abalones in Atlas – Golf (Kreide kustenbken) Marokko Geol.Rundsch ,67,pp.427-453.
- [16] BERTHOIS (1975) - Les roches sédimentaires. Etude sédimentologie des roches, (tectoniques et méthodes) .Ed. Doin. Paris, 278.
- [17] BIRON P.E. (1982) – Le Permo –Trias de la région de l' Ourika, Haut Atlas de Marrakech (Maroc).Thèse 3^e cycle, Grenoble1982.
- [18] BLUCK B. J. (1974) - Structure and directionnel properties of some Valley sandur deposits in southern Island. Sedimentology, 21, pp. 533 – 554.
- [19] BOUJO A. (1976)– Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate Crétacé–Eocène des Gontour (Maroc, Occidental).N.M.S.G.Maroc,n°262,227p,mém.Sci.Géol.43,227p
- [20] BOUMANE K. (1995) – Evolution tectonique et sédimentaire du bassin méso – cénozoïque d' Eriguita. Bordure Sud de la chaîne intracratonique du Haut Atlas (massif ancien de Marrakech, Maroc). 176 p. ,120 Fig.
- [21] BOURROUILH FG. (1990) – Diagenèse des carbonates de plate forme, récifs et mangroves en Atlantique et Pacifique. Thèse Uni. Pierre et Marie Curie, 190 p.
- [22] CAILLEUX A. et TRICART (1959)- Initiation à l'étude des sables et galets. Centre de documentation universitaire, Paris.
- [23] CAILLEUX A. et SOLEILHAVOUP F (1976) – Les kerkoubs, concrétions calcaires du Sud – Algérien. Géologie méditerranéenne, Tome II, n° 4, pp. 251 -264.
- [24] CHALLAI E. H. (1986) - Analyse séquentielles dans le Mio- Pliocène de la région de Tahnaout (Haut Atlas de Marrakech, Maroc). Journées géologiques et minières marocaines. R abat, résumé, p.9.
- [25] CHALLAI E. H. (1987) - Quelques aspects de l'encroûtement carbonaté du Néogène du versant septentrional du Haut Atlas (Marrakech Maroc). Coll. P.I.C.G., U.N.E.S.C.O., n° 210, p.37.
- [26] CHILLINGAR G.V. BISSEL H. J. et WOLF K.H. (1967) - diagenesis of Carbonate rocks. In: diagenesis in sediments (LARSEN G. and CHILLINGAR G.V. Ed.).Develop. Sedimentology, 8,p. 179-322.
- [27] CHILINGAR G.V., BISSEL H. J. et WOLF K.H. (1979) - Diagenesis of Carbonate sediments and epigenesis (or catagenesis) of limestones. In Digenesis in sediments and sedimentary rocks, LARSEN G. et CHILINGAR G. V. Ed. Develop. Sedimentology, p.247-422.
- [28] CHOUBERT G. (1947) - L'accident majeur de l'Anti-Atlas. C.R.Acad.Sci.Paris, 224,16, pp.1172-1172.
- [29] CHOUBERT G. et SALVAN H. (1950) – Essai paléogéographique du Sénonien au Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n°157,332 p.
- [30] CHOUBERT G. et MARCAIS J. (1956) - Les grands traits de la géologie du Maroc. Introduction géologique au lexique stratigraphique du Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n°134.
- [31] CHOUBERT G. et FAURE – MURET A. (1962)- Evolution du domaine atlasique marocain depuis les temps paléozoïques. In livre, Mém., P, Fallot .Mém. h. Serv. Soc.Géol.Fr.1, pp.447-527.
- [32] COUVREUR G. (1979)- Conditions naturelles, peuplement et genre dans le Haut Atlas (Maroc), Méditerranée n°1 et 2, pp.23-25.
- [33] CLIFFON H. E., HUNTER R. E. et PHILLIPS R. L. (1971) – Depositional structures and processus in the non barred high energy near – shore. J. sediment. Petrol. 41, pp. 651 – 670.
- [34] CUSSEY R., DURIF P., ETIENNE J., REULET J., BOUROULIEC J., DELOFFRE R., ELLOY R. et FOURNIE D., (1975) – Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés, 1 Elf- Aquitaine .173 p., p.108, pl.61.
- [35] DAOUDI L. DECONINCK J.F. BEAUCHAMP J. et DEBRABANT P. (1988). Minéraux argileux du bassin d'Agadir (Maroc) au Jurassique supérieur-Crétacé. Comparaison avec le domaine Est- Atlantique voisin. Ann. Soc. Géol. Nord, T. CVII, pp 23-25.
- [36] DEBRACH J. (1953)- Notes sur le climat au Maroc Occidental, Maroc médi.t.32, n°342.pp.1122- 5 Tab., 5 Fig.
- [37] DELFAUT J. (1972) – Application à l'analyse séquentielle à l'exploration lithostratigraphique d'un bassin sédimentaire. Exemple du Jurassique et du Crétacé inférieur de l'Aquitaine. Mém.B.R.G.M.77, pp.593 -611.

- [38] DELFAUT J. (1974) – Typologie scalaire de la séquence sédimentaire en fonction de milieu de dépôt. Bull. Soc. Géol.Fr. 7, XVI, n°6, pp.643- 650.
- [39] DELFAUT J. (1976) –Fondements d'une lithostratigraphie scalaire : séquences et discontinuités sédimentaires. Bull. Soc. Géol. Fr.
- [40] DELFAUT J. (1986) – Organisation scalaire des événements sédimentaires majeurs autour de la Mésogée durant le Jurassique et le Crétacé. Conséquence pour les associations biologiques. Bull. Centre Tech. Explor. Pro. Elf – Aquitaine, 10, 2, pp.509-0535.
- [41] DELMAS M .R. (1975) – la formation et l'évolution des micrites et dolomicrites. Bull ; Centre Rech. Pau – SNPA, 9 , PP . 77 – 97.
- [42] DRESEN G. (1983) – Aus detmold –Bruchtekhout faltun und schollebean , Im Westlien Hohen Atlas –bei Marakeechy Marokko – Pnaugural- dissertation – zun erlargung der doktourird der rhein Hohen mathemm –naturen facultat der rheinisch , Friedruch – Wilhelows Unistat Zn Bonn.1-344p.
- [43] DRESH J. (1941) – Recherche sur l'évolution du relief dans le massif central du grand Atlas, le Haouz et le Souss. Imprim. Arrault. Edi. , Tour. 712 p.
- [44] DRESNAY DU R. (1971) – Extension et développement des phénomènes récifaux jurassiques dans le domaine atlasique marocain, particulièrement au Lias moy. Bull.Soc. Géol. France ,13(7), pp.46-56.
- [45] DRESNAY DU R. (1972) – Sédiments carbonatés inter – cotidaux et supra- cotidaux du Lias inférieur dans le domaine atlasique marocain. C. R. Acad. Sci. Paris, V. 275, Ser. D, pp.34.
- [46] DRESNAY DU. R. (1976) – Signification paléoclimatique paléogéographique de la présence de structures en Tipis, au Lias inférieur, dans le domaine des chaînes Atlasiques du Maroc. Rev. Fac. Sci. Marrakech, n° 183 (1985).
- [47] DUFFAUD F.C. BRUN L. et PLANCHUT B. (1966) – Le bassin du Sud – Ouest Marocain. In : D .Reyre (Ed.). Bassins sédimentaires du littoral Africain, Assos. Serv. Géol.
- [48] Afr., Paris, 1 ère Partie, pp. 5-12.
- [49] DUNHAM R. J. (1962) - Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham W. E. (ed.), Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir, p.108-121.
- [50] DUNHAM R. J. (1969) – Vadose pisolite in the Capitan Reef (Permian). New Mexico and Texas. In: Depositional Environments in Carbonate Rocks: a symposium. FRIDEMAN G. M. Ed. S.E.P.M., Spes. Publ. 14, p. 182-191.
- [51] DUNOYER de SEGONZAC G. (1986) – The birth and development of the concept of diagenesis (1866- 1966). Earth. Sci. Rev., 4, p. 153-201.
- [52] DUNOYER de SEGONZAC G. (1969)- Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. Mém.Serv.Carte Géol. Als. Lor.29. Strasbourg, 230 p .
- [53] DURAND M. (1978)- Paléocourant, reconstitution paléogéographique:l'Exemple du Buntsandstein des Voges méridionales (Trias inférieur et moyen continental). Sc. Terre, Nancy, 22(4).PP.301-390.
- [54] DUTOIR A. (1961) – Formations alluviales et terrasses du Quaternaire moyen dans le Haouz de Marrakech (Maroc) phys. Géol. Mém. pp.103- 116.
- [55] FLOQUET M. (1984) - discontinuités sédimentaires et corrélation : Exemples dans le Crétacé supérieur mésogéen et atlantique. Bull. Serv. Carte. Géol. France, (7), t. XXVI, n° 6, pp. 1211- 1221. FLOQUET M. (1989) – Barres calcarenitiques tidales lors de la transgression marine dans le Golfe Cantabrique au Cénomanien moyen (Espagne du Nord) . Bull. Soc. Geol.Fr. , t. V, pp. 1003 -1013.
- [56] FLOQUET M. (1991) – La plate forme Nord- Castillane au Crétacé supérieur (Espagne) .Arrière pays ibérique de la marge passive basco-cantabrique. Sédimentation et vie .Mém. Géol. Univ. Dijon. 14,925p.
- [57] FOLK R. L. (1959) - Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 43, p. 1-38.
- [58] FOUCAULD CH. De (1988) – Reconnaissances au Maroc (1883-1884), XVI, pp. 495, 4 photos. Atlas de 20 feuilles 1/2500 000, chalamel Ed. Paris.
- [59] FRIEDMAN G. M. (1967) – Dynamic processes satiscal parameters compared for size frequentary distrubition of beach and river sand .Journal of sedimentary petrology, Vol.37, n° 2, pp. 327-394.
- [60] ELYOUSSI M. (1986)- Sédimentologie et paléogéographie du Permo –Trias du Haut Atlas Central (Maroc). Thèse 3é cycle, Grenoble.
- [61] GAVISH E. et FRIDEMAN G.M. (1969) – Progressive diagenesis in Quaternary to Late Tertiary carbonate sediments: Sequence and time scale. Jour. Sed .Petrol, 39, p. 980 – 1006.
- [62] HALOUL (1986) – Contribution à l'étude du milieu et de la végétation du bassin versant de l'oued Reheraia (Haut – Atlas de Marrakech). Thèse 3é cycle de Marrakech, 123p.
- [63] HANSHAW B.B., BACK W. et DEIKE R.G. (1971)- A geochemical hypothesis for dolomitization by ground water. Econ.Geol, 66, p. 710-724.

- [64] IZART A. (1990).- Dynamique des corps sédimentaires classiques dans les bassins carbonifères de la méséta marocaine. Thèse habilitation, Univ Bourgogne, 357.
- [65] JACOBSHAGEN V. (1986) – Zur Baugeschichte des Hohen Atlas (Morokko). Berliner Geowiss .Abh. (A), 66, p. 433 -454.
- [66] JENNY J., LE MARREC A. et MONBARON M. (1981)- Les couches rouges du Jurassique moyen du Haut Atlas Central (Maroc) : corrélation lithostratigraphique, élément de datation et cadre tectono- sédimentaire. Bull.Soc. Géol. France, (7), t. XXIII, n°6, p.627-639, 6 Fig.
- [67] KAZI –TANI (1986) – Evolution géodynamique de la bordure Nord –Africaine, le domaine intraplaque Nord Algérien. Approche mégaséquentielle. Thèse de Doctorat Es Sci. , Pau, 877p.
- [68] KINSMAN D. J. J. (1969) - Model of formation Sedimentary association and diagnostic Features of Shallow Water and supratidal evaporates. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 53, 4, pp-830 -276.
- [69] KLEIN G. (1977) – Tidal circulation model for deposition of clastic sediment in and mioclinal Sheff seas. Sediment. Géol. 18, pp. 1 – 12.
- [70] KLUPFEL W. (1971) – Über die sedimente der flaschsee in Lothringer Jura. Geol. Bd, 7, pp. 97 -109.
- [71] LAND L.S. (1985) –Holocene meteoric dolomitization of Pleistocene limestones, North Jamaica. Sedimentology, 24, p.411-424.
- [72] LEMOINE P. (1905) – Mission dans le Maroc occidental. Comité du Maroc, Paris. 224 p.
- [73] LOMBARD A. (1953) – Les rythmes sédimentaires et la sédimentation générale. Essai de synthèse. Rev. I.F.P., n° spec.
- [74] LOMBARD A. (1956) – Géologie sédimentaire. Les séries marines.
- [75] LOMBARD A. (1972) – Les séries sédimentaires. Genèse et évolution. Paris. Masson et Cie
- [76] LUCAS G. CROS P. et LAND J. (1976) – Les roches sédimentaires 2 : Etude microscopiques des roches meubles et consolidées. Doin Ed., 503p.
- [77] MANGIN J.PH. (1956) – La séquence unité et les séries sédimentaire. Dev. In sedm. Vol. 1, pp.219 -274. Elsevier.
- [78] MATTAUER M. TAPPONNIER P. et PROUST F. (1977) – Sur les mécanismes de formation de chaînes intracontinentales : l'exemple des chaînes atlasiques du Maroc. Bull. Soc. Géol. France. (7), t. XIX, n°, pp.521-526.
- [79] MC BRIDE et THOMSON (1970) – The Caballos Novaculite, Marathon region, Texas. Geol. Sci. Am. , spec. Paper, 122, p. 129.
- [80] MIAL A. D. (1977) – A review of the braided river depositional environment . Earth Sci . Rev. 13, pp. 1 -62.
- [81] MICHARD A. (1939) – Description géologique des montagnes à l'Est du Marrakech. Notes Serv. Géol. Maroc, 51, 438 p.
- [82] MICHARD A. (1976)- Elément de géologie marocaine. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n°252, 408p.
- [83] MILLOT G. (1960) – Silice, silex, silicification et croissance des cristaux. Bull. Serv. Carte. Geol. Als. Lorr., 13, 4, p.1-30 .
- [84] MILLOT G. (1965)- Géologie des argiles, altération, sédimentologie, géochimie. Masson, Paris, 499 p.
- [85] MILLOT G., LUCAS J. et WEY R. (1963) – Researches on evolution of clay minerals and argillaceous and siliceous neoformations. Clays and Clay Minerals (10 th nat. Conf. 1961), p.399- 412.
- [86] MILLOT G., BOCQUIER G. et PAQUET H. (1976)- Géochimie et paysages tropicaux. La Recherche, 65, p.236-244.
- [87] MILLOT G., NAHON D., PAQUET H., RUELLAN A., et TARDY Y., (1977) L 'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtement carbonatés en pays subaride Anti Atlas, Maroc. Sci. Geol. Bull. , Strasbourg, t. 30, fasc. 3, 10 fig. 3pl., pp.129 – 152.
- [88] MONBARDON M.(1982) - Précision sur la chronologie de la tectogénèse atlasique : Ex du domaine atlasique mésogéen du Maroc. C.R. Acad.Sc. Paris, t294, pp.883-886.
- [89] MULLER G. (1971) - Gravitational cement: an indicator for the vadose zone of the subtidal diagenetic environment. In: Carbonate cement, BRICKER O.P. Johns Hopkins Press, Studies in Geology, 19, p.301 – 302.
- [90] PATCHERE (DE) PH. (1983)- Le volcanisme permien et fini triasique dans le Haut – Atlas de Marrakech (Maroc). Thèse 3é cycle, Grenoble 203p.
- [91] PAQUET H. (1970) – Evolution géochimiques des éléments argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranés, tropicaux à climat contrastés. Mém. Serv. Carte geol. Als. Lorr. Strasbourg, Vol 30, 29 fig., 65 tabl., 212 p.
- [92] PETTIJOHN F. J. et POTTER P.E. (1964) – Atlas and glossary of primary Sedimentary structures. Spriger – VERLAG, Berlin. Gottingen.
- [93] PROUST F. (1973) – Etude stratigraphique, pétrographique et structural du bloc oriental du massif ancien du Haut Atlas (Maroc). Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 34, n°254, pp.15-23.
- [94] PURSER B. H. (1972) - Subdivision et interprétation des séquences carbonatées. In : Coll. Méthodes et tendance de la Stratigraphie, Orsay, 1970, Mém.B.R.G.M. , P.679-698.
- [95] PURSER B.H. (1973a) – Relation entre les caractéristiques lithologiques pétrographiques des roches carbonatées. Synthèse bibliographique. Entreprise. Rech. Activ. Pétrolières (E.R.AA.), Inst. Fr. Pétrol. , raf. 21558, 243 p.
- [96] PURSER B.H. (1973b) – Sedimentation around bathymetric highs in the Southern Persian Gulf , PURSER B.H. Ed., Springer – verlag , Heidelberg , p. 157- 178.

- [97] PURSER B. H. (1975) - Sédimentation et diagenèse précoce des séries carbonatées du jurassique moyen de Bourgogne. Thèse d'Etat, Paris XI – Orsay, France, 383 p.
- [98] PURSER B.H. (1980) – Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. t.1, pub.Inst. Fr. Petrol, 366 p.
- [99] RAZGALLAH S., PHILIP J., THOLEL G., ZAGHBIB – TURKI D., CHAABANI F., BEN ALI N. et M'RABIT A. (1994) – La limite Cénomano- Turonien en Tunisie Centrale et méridionale : biostratigraphie et paléoenvironnements. *Cretaceous Research*, 15, p. 507-533.
- [100] REIGERS T.J.A. et HSU K.J. (1986) – Manual of Carbonate Dolomite. *Jour. Sedim. Petrol.* , 56, 2, p. 237 -247.
- [101] REINECK H.E. et SINGH I.B. (1980) – Depositional Sedimentary Environment, Berlin, Springer – Verlag. 549 p.
- [102] RHALMI M. (2000) – Le Cénomano - Turonien au Sud du Haut Atlas Central marocain (bassin de Ouarzazate) et Errachidia – BOUDNIB – Erfoud) sédimentation, stratigraphie et diagenèse. Thèse de Doctorat Es Sci. pp.113- 137.
- [103] RIO (1982) –Les accidents siliceux dans le Crétacé du bassin vocontien (Sud – Est de la France). Contribution à l'étude de la silicification des formations calcaires Doc. Lab. Géol. Lyon, 84, 178 p.
- [104] ROLLY J. P. (1973) –Etude géologique de l'Atlas d'Afour, Haut Atlas Central. Maroc, Thèse 3^e cycle, Univer., Grenoble.
- [105] SALVAN H. (1984) – Les formations évaporitiques du Trias marocain. Problèmes stratigraphiques et paléoclimatiques. Quelques réflexions. *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 25, p. 187 -203.
- [106] SCHAEFER J. P. (1966) – Aspect de tectonique dans le bloc ancien du Haut Atlas. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 258, pp.2353-2355.
- [107] SHARMA (1965) –Formation of silica cement and its replacement by carbonates. *Jour. Sed. Petrol.* , 35, 3, p. 733 -745.
- [108] SCHROEDER J.H (1973) –Submarine and vadose cements in Pleistocene Bermuda Reef Rock. *Sedim. Geol.*, 10, p.179 - 204.
- [109] SHEARMAN D. J. (1978) – Les faciès évaporitiques de sebkha ; in dépôt évaporitiques. Illustration et interprétation de quelques séquences. *Technique*, Paris, p 19 .6 pl.
- [110] SHINN E. A. (1983) - bird's eyes, Fenestrae, Shrinkage pores, and Lofrites: a reevaluation. . *Jour. Sed. Petrol.* , 53, 2, p. 179 -204.
- [111] SKINNER H. C. W. (1963) – Precipitation of calcian dolomites and magnesium calcites in the SE of South Australia. *Am. Jour. Sci.*, 261, p. 449- 472.
- [112] TAJ-EDDINE K., REY J. et DRESNAY DU R. (1995) – Le Jurassique terminal et Néocomien dans le bassin de Safi et d'Essaouira. *Livret guide .Véme Cont. Sc. International. P.I.C.G.U.N.E.S.C.O. Marrakech*.
- [113] THIERNY O. B. (1993) –Le jurassique du versant Nord du Haut Atlas de Marrakech (zone des cuvettes" d'Ait Ourir) : Sédimentologie, Analyse séquentielle et paléogéographique n°9346. Thèse 3^e cycle.
- [114] THIRY M., KOENIGUER et MENILLET F. (1988) – Les silicifications de surface : la typologie et les outils de leur interprétation. *Bull. Inf. Assoc. Geol. Bassin Paris*, 25, p. 5-14.
- [115] THOMSON (1899) – The geology of Southern Morocco and the Atlas Mountains. *Quarter. Jour. Geol. Society. London*, 55, P.
- [116] THOMSON A. M. (1970) – Tidal flats deposition and early dolomitization in upper ordovician Rocks of Southern appalachien valley and ridge. *Jour. Sed. Petrol.* V. 40, n° 4 ,pp. 1271 – 1286.
- [117] TUCKER M.E. ET WRIGHT V.P. (1990) – Carbonate sedimentology. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 482p.
- [118] TUCKER M.E. (1991) – sedimentary Petrology. An introduction to the origin of sedimentary rocks. 2nd Ed, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 400p.
- [119] TUCKER M.E. (1993) - Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy, *Sedim. Rev.*, 1, p. 51-72.
- [120] VAN HOTEN F. B. (1977) – Triassic Liasic deposits of Morocco and eastern North America: Comparison .A.A.P.G. Bull., 61, p. 79- 99.
- [121] WALLACE M.W. (1990) – origin of dolomitization on the Bardwire Terrace, Canning Bassin, Western Australia. *Sedimentology* , 37 , p. 105 -122.
- [122] WILLIAMS L.A., PARKS G.A. et CREBAR D.A. (1985a) – Silice Diagenesis. I- Solbility controls. *Jour. Sedim. Petrol.*, 55,3, p.301-311.
- [123] WILLIAMS L.A. et CREBAR D.A. (1985 b) - Silice Diagenesis. II- General macanisms. *Jour. Sedim. Petrol.*, 55,3, p.312-321.
- [124] WURSTER P. et STETSJ. (1982)– Sedimentation in the Atlas Gulf. II: Mid – Cretaceous events. In: *Geol. Afr.Cont. Margin*. Springer – Verlag, p.439-45.
- [125] YAPAUDJIAN L. (1972) – Une approche actualiste en géologie sédimentaire (B.R.G.M., Quelques données d'interprétation des séquences de plate forme). *Mém. Fr.*, n°77, pp. 715 –744.

CONCEPT STRUCTURAL ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS NEOPROTEROZOIQUES DU GROUPE DE DIPETA : CAS DU GISEMENT DE KABULUNGU, KATANGA, RDC

NGOY KAZADI UMPUNGU¹ and Albert KALAU²

¹Licencié en Géologie, Assistant à l'ISTA Kolwezi, Section Géologie et Mines, RD Congo

²Licencié en Géologie, Chef des travaux à l'ISTA Kolwezi, Section Géologie et Mines, RD Congo

Copyright © 2018 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: Lithostratigraphy and tectonics are the major metallogenic parameters in the development of mineralization within the Katangan Basin formations. The structural and lithostratigraphic concept of the Neoproterozoic formations of the Dipeta group can be explained by applying a qualitative method, unfortunately very laborious, to explain this sequentiality of mineralization in the bearing rocks. The Kabulungu deposit is located more or less 25 km south-west of the town of Kolwezi. This lithostratigraphic and petrographic study shows a special horizontal zonation: shales silicified dolomitic rocks, breaching shales, dolomitic rocks and conglomerate shales. This spatial zonation is in symbiosis with a structure that seems to be monoclinical, locally, notwithstanding the gap in R.4.2.

Kabulungu is a brecciated formation with only one major preferential direction of N36 ° E break, this direction being from East to West on the anticline of the same name. The southern flank of the anticline was pushed over the northern flank along the east-west fault affecting the core of the anticline. The tectonic style for the Kabulungu region differs from other sectors only in the extent of the extrusiveness within the Kansuki fault bounded by the north and south lip. The advance of the said fault would have been put in place by an extrusive mechanism of subsurface. Finally, the variation of direction following each break zone proves that the terrain of Kabulungu is unstable. The mineralization was deposited in the highly altered zones and in the referential lithological formations.

KEYWORDS: Lithostratigraphy, extrusive, extrase, style, tectonics, fault, Dipeta, R.4.2, Kibarian, Katanguien.

RESUME: La Lithostratigraphie et la tectonique constituent les paramètres métallogéniques majeures dans la mise en place de la minéralisation au sein des formations du bassin katanguien. Pour expliquer cette séquentialité de la minéralisation dans les roches porteuses, il y a lieu de développer le concept structural et lithostratigraphique des formations néoproterozoïques du groupe de Dipeta en appliquant de méthode qualitative, hélas très laborieuse. Le gisement de Kabulungu est situé plus ou moins à 25 km au sud –ouest de la ville de Kolwezi. Cette étude lithostratigraphique et pétrographique montre une zonation horizontale spéciale suivante : les shales, les roches dolomitiques silicifiées, les shales formant une brèche, les roches dolomitiques et les shales conglomératiques. Cette zonation spatiale est en symbiose avec une structure qui semble être monoclinale, sur le plan local, nonobstant la lacune du R.4.2.

Kabulungu est une formation bréchiée qui présente une seule direction préférentielle majeure de cassure N36°E, cette direction s'étant d'Est-Ouest sur l'anticlinal du même nom. Le flanc sud de l'anticlinal a été poussé au-dessus du flanc nord le long de la faille est-ouest affectant le noyau de l'anticlinal. Le style tectonique pour la région de Kabulungu se distingue des autres secteurs uniquement dans l'ampleur du phénomène extrusif au sein de la faille de Kansuki limitée par la lèvre nord et sud. L'avancée de la dite faille aurait été mise en place par un mécanisme extrusif extrase de subsurface. Enfin la variation de direction suivant chaque zone de cassure prouve à suffisance que le terrain de Kabulungu est instable. La minéralisation s'était déposée dans les zones très altérées et dans les formations lithologiques référentielles.

MOTS-CLEFS: Lithostratigraphie, extrusif, extrase, style, tectonique, faille, Dipeta, R.4.2, Kibarien, Katanguien.

1 INTRODUCTION

Le gisement de Kabulungu se localise à plus ou moins 25Km au Sud-Est de la ville minière de Kolwezi. Ce gisement est situé à plus ou moins 2,5Km de la route reliant la ville de Kolwezi à celle de Likasi (Fig1). Ces formations appartiennent au Katanguien et plus précisément aux groupes de : Dipeta, Mwashya, Nguba et Kundelungu. Les observations pétrographiques ont démontré que les assises formant le gisement de Kabulungu/Makala consistent à une succession des shales argileux, des microgrès et de dolomies quartzeuses. Les formations de Kabulungu ont été soumises aux mouvements tectoniques et à une intense altération.

Pour pallier aux notions mécaniques et cassantes des masses rocheuses de Makala quelques 100 mesures ont été effectuées in situ et nous avons été obligés de faire une analyse structurale sur l'ensemble du gisement.

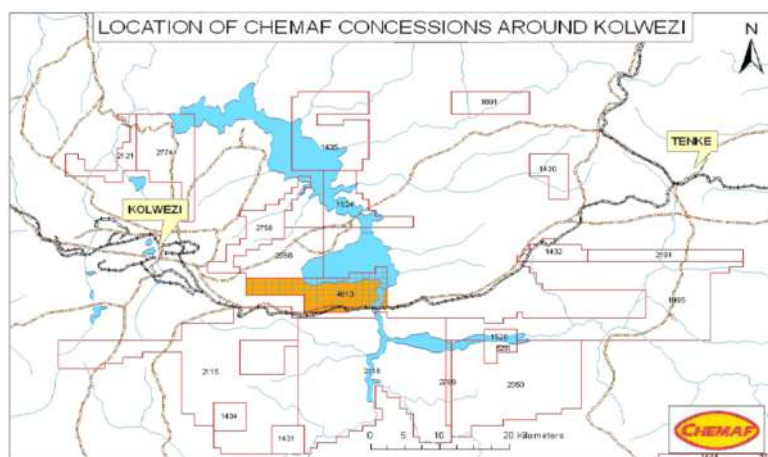


Fig. 1. Le gisement de Kabulungu

2 GEOLOGIE DE KABULUNGU

Les formations géologiques de Kabulungu se présentent en une succession régulière. Toutefois, certaines couches y paraissent tout à fait lenticulaires.

Du Nord au Sud du gisement nous pouvons trouver :

- a) Le Kundelungu (Ku) représenté par les shales en général ;
- b) Les shales tuffacés et les tuffs volcaniques pyroclastiques appelés pyroclastites.
- c) Le Mwashya inférieur, représenté par une mosaïque des dolomies, à savoir : shales dolomitiques et les shales.
- d) Le Nguba (Ng) marqué par le grand conglomérat (Ng1.1).
- e) Le Mwashya inférieur identifié par la dolomie silicifiée massive et le shale dolomitique.
- f) En enfin le Nguba par le grand conglomérat (Ng.1.1) (Fig2).

3 STRUCTURE DE KABULUNGU

Les formations du Katanguien et celles de Supergroupe de Roan en particulier ont connu une orogénèse appelée Lufilienne d'âge panafricaine.

Les effets de celle-ci ont été ressentis de manière différente dans le temps et dans l'espace.

Au Sud du Katanga, ces effets ont été très violents et complexes. Les formations du Roan ont été plissées, bréchiées, chevauchées, faillées, extrudées voire charriées sur le Kundelungu dont l'allure est miraculeusement assez calme. Le Roan y a pris une forme en arc (François, 1973, 1985, 1995, 2006).

Dans la partie centrale du Katanga, cette orogénèse se traduit par des ondulations (anticlinal – synclinal) qui s'atténuent de plus en plus au fur et à mesure que l'on avance vers le Nord Katanga où les formations katanguiennes sont restées tabulaires.

3.1 DISPOSITION DE L'ÉCAILLE DE KABULUNGU

Dans le secteur de Kabulungu, le gisement se présente sous forme de deux bandes de R.4.1 séparées l'une de l'autre par la pyroclastite appelé RK.1 et RK.2 ou roches de Kipoï (Lefebvre, 1974). La première bande se trouvant au Nord à un pendage de plus ou moins 45° et la deuxième est plus ou moins subverticale.

CONCEPT PÉTROGRAPHIQUE

L'étude pétrographique réalisée sur les échantillons des tranchées et des sondages montre respectivement la succession lithostratigraphique et lithologique suivante :

- a) Sur base de l'observation du plan de surface élaboré (Fig.2) la zonation spatiale horizontale et latérale se présente comme suit du Nord au Sud.
 - Shales : ce sont des pelites massives attribuées jadis par la Gécamines au Kundelungu, en réalité du R.4.1 (François A. 1973, 1987, 1995 ; Cailteux J., 1983).
 - Un ensemble des roches dolomitiques en générale silicifiées avec intercalation des niveaux des pelites dolomitiques et de pyroclastites. Cet ensemble se présente sous forme d'élément d'une macro-brèche dont la stratification devient délicate à établir ;
 - Shales formant une brèche à éléments de pelites très fracturée, remplie ou non, de couleur rouille à brunâtre voire verdâtre incorporant les galets de quartz arrondis et anguleux, c'est la pyroclastite.
 - Un ensemble des roches dolomitiques, même faciès que précédemment.
 - Shale formant l'assise du grand conglomérat dont la délimitation de celui-ci est fonction de l'altération. C'est ainsi qu'on retrouve le Ng.1.1 suivi de Ng.1.3 et de Ng.2.
- b) La zonation spatiale verticale montre que la structure de Kabulungu semble être monoclinale localement cependant avec une lacune du R.4.2.

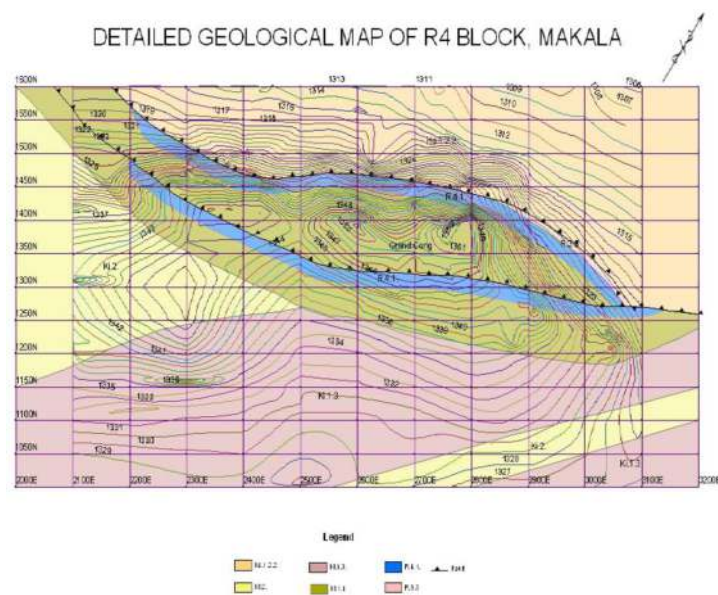


Fig. 2. Carte géologique détaillée du R4 Block (Makala)

4 ANALYSE STRUCTURALE DES FORMATIONS DE KABULUNGU

4.1 COLLECTION DES DONNÉES

Il s'avère que le comportement des masses rocheuses dépend de leur nature et de leurs discontinuités, quand elles sont sollicitées par une force. Les discontinuités sont assimilées aux plans dont on a prélevé les orientations illustrées ci-dessus :

Tableau 1 : Données structurales de Kabulungu (Makala)

Direction et pendage des cassures			
N65°/81°NW	N142°/69°SW	N144°/66°SN	N115°/36°SW
N25°/37°NE	N85°/36°NW	N144°/65°SN	N144°/63°SW
N140°/70°SE	N65°/86°SE	N143°/63°SN	N144°/63°SW
N169°/89°NE	N139°/28°NE	N123°/62°SW	N143°/63°SW
N23°/72°NW	N68°/78°SE	N124°/61°SW	N142°/71°SW
N32°/23°SE	N170°/17°NE	N142°/68°SW	N143°/69°SW
N34°/75°NE	N90°/84°SW	N141°/66°SW	N142°/71°SW
N110°/39°SE	N127°/83°SW	N148°/62°SW	N143°/69°SW
N155°/79°SW	N163°/80°NE	N142°/69°SW	N142°/68°SW
N82°/44°SW	N143°/66°SN	N140°/68°SW	N141°/68°SW
N165°/68°SE	N144°/66°SN	N143°/69°SW	N142°/68°SW
N142°/68°SW	N144°/65°SN	N142°/70°SW	N142°/68°SW
N141°/65°SW	N142°/64°SN	N146°/67°SW	N142°/69°SW
N148°/62°SW	N142°/63°SN	N170°/79°SW	N142°/69°SW
N143°/60°SW	N123°/62°SW	N32°/81°NW	N142°/69°SW
N146°/67°SW	N123°/60°SW	N55°/72°NW	N120°/34°SW
N146°/68°SW	N124°/61°SW	N80°/53°SE	N123°/42°SW
N143°/69°SW	N124°/62°SW	N120°/66°NS	N121°/44°SW
N142°/70°SW	N143°/67°SW	N25°/75°SE	N120°/42°SW
N140°/68°SW	N143°/66°SN	N62°/54°SW	N121°/44°SW
N120°/42°SW	N127°/64°SW	N120°/60°SW	N120°/62°SW
N125°/64°SW	N123°/63°SW	N120°/62°SW	N121°/63°SW
N126°/62°SW	N120°/60°SW	N123°/61°SW	N120°/62°SW
N121°/62°SW	N121°/63°SW	N120°/62°SW	N120°/50°SW
N121°/50°SW	N119°/52°SW	N120°/50°SW	N146°/65°SW
N144°/63°SW	N146°/66°SW	N122°/52°SW	N121°/54°SW
N144°/63°SW	N142°/71°SW	N142°/70°SW	N143°/69°SW
N142°/68°SW	N149°/69°SW	N142°/68°SW	N141°/68°SW
N125°/62°SN	N127°/64°SN	N128°/65°SN	N121°/64°SN
N127°/61°SN	N123°/59°SN	N120°/47°SN	N127°/49°SN
N123°/43°SN	N122°/48°SN	N123°/49°SN	N154°/34°SN
N90°/85°SE	N170°/79°NE	N78°/52°NW	N80°E
N85°E	N18°E	N74°/45°NW	

4.2 TRAITEMENT DES DONNÉES STRUCTURALES

4.2.1 ANALYSE DES DONNÉES

Les données en exposées dans le tableau ci-haut et dans les figures 4, 5, 6, 7 sont une représentation graphique des données structurales. Ces mesures structurales font ressortir un régime compressif (compression pure et radiale) et un régime distensif (oblique).

4.2.2 RÉGIME D'EFFORT DE COMPRESSION

La figure 4 indique le régime dominé par la compression dans toute la région entière de Makala. La dite région présente une direction prédominante de l'ensemble des éléments structuraux qui est de N36, 1°E et N216,1°W. Les résultats calculés pour la direction compressive principale de Kabulungu indique que σ_1 (41,8°/30°) est pratiquement secondaire perpendiculairement à la direction de plan par défaut et la contrainte σ_3 (178,8°/51,7°) est la plupart du temps secondaire à la surface parallèle dans toutes les directions de contraintes. Ces effets appartiennent à régime de compression importante

(compression pure) avec la contrainte σ_1 qui plonge doucement vers le NE ou le passage entre les formations du R.4.1 et R.3.3 reste bien marqué.

Ces contraintes sont responsables de la mise en place des failles inverses conjuguées qui colonisent la région de Makala.

Nous avons ainsi deux générations des failles à Makala et ces contraintes montrent également un angle de frottement interne $\varphi = 12,4^\circ$ ($\varphi < 16,7^\circ$ on a aucun domaine de réactivation des failles) et l'effort de contrainte dirigé dans le sens N36,1°E suggère que les contraintes les plus susceptibles doivent avoir été formé pendant l'évènement Kolwezien (D_1).

En analysant très bien les données structurales in situ l'orientation des contraintes coïncident avec la direction préférentielle des cassures et fractures, et ceci stipule que c'est la direction de compression qui induit le régime ayant produit les joints minéralisés. Ceci a vu le jour pendant la phase Monwezienne (D_2) et est perpendiculaire à la direction des contraintes de compression NE de qui dérivent les fragments de R.4.1 et R.3.3.

Partant de nos observations, la contrainte de compression est susceptible d'être responsable de la formation des points minéralisés qui s'étaient formés pendant la phase plicative de l'évènement. La phase D_1 est marquée par des décrochements senestres à vergence SE quoique les cisaillements de plis ont eu lieu. Cette vergence stipule que les dynamismes tectoniques ont été formés à différentes époques en raison du rapetissement NE (D_1). Cet évènement F_1/D_1 s'est très probablement formé pendant l'évènement kolwezien, ceci est généralement considéré comme régional (D_1) traversant l'Arc Lufilien entier (A. François, 1973 ; Unrig, 1983 ; Kampunzu et Cailteux, 1999 ; Kipata, 2013).

Regardant plus étroitement la forme de l'Arc Lufilien, il s'avère que deux types d'arcs ont été produits.

- Un arc principal situé à travers le supergroupe Katanguien, tandis qu'un petit arc formé, se situe au NE. Les deux arcs peuvent être séparés par le linéament tectonique de dômes de la région Tenke-Fungurume (Banza Kazadi, 2012). La région de Kundelungu est située exactement le long de ce linéament.

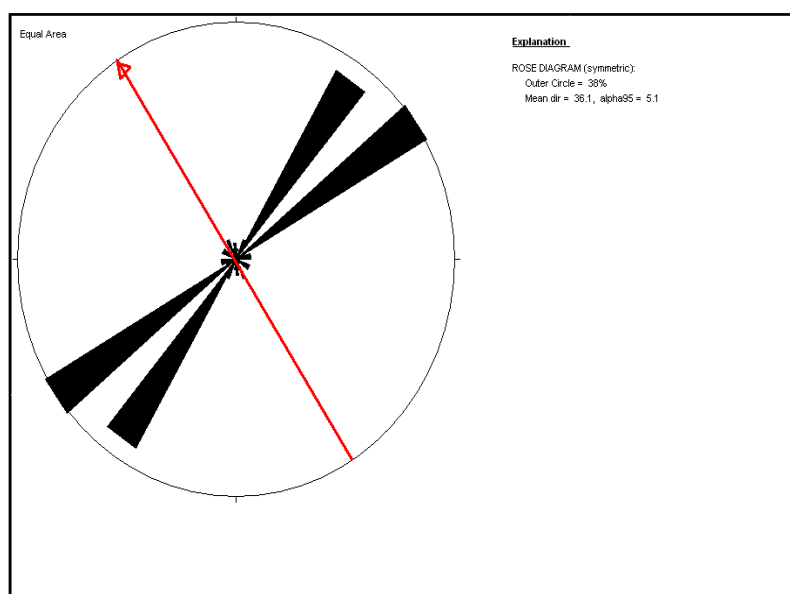


Fig. 3. Rosace de fréquences

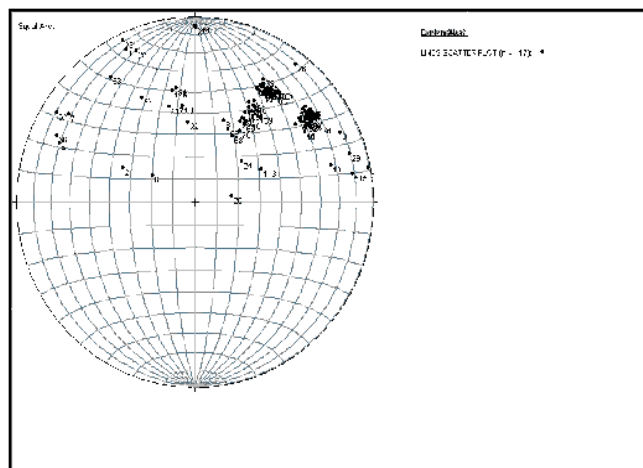


Fig. 4. Pôle de densité

4.2.3 CHAMP DE STABILITÉ, DE GLISSEMENT, CONTRAINTES ET PLAN AXIAL

La projection des pôles des plans de cassures en 2D, nous permet de trouver le plan déviatorique. C'est le plan dont le pôle est l'intersection de deux plans qui passent par deux réseaux de fractures (cyclogrammes). L'angle de frottement interne est la différence entre 90° et 2α et α est un angle formé par deux lignes appelé « Angle blwn 2 lines ». L'angle de frottement interne est défini comme étant l'intersection de deux réseaux de fracture avec le plan déviatorique.

Le plan passant par σ_1 et σ_2 est le plan bissecteur ou plan axial. Le champ de stabilité représente une région dans laquelle le massif est stable. En d'autre terme c'est la zone ou doivent se retrouver toutes les contraintes pour que le massif ne puisse pas passer à la rupture.

Pour mener au clair notre objectif et faire rapidement ce travail, nous nous sommes servis d'un logiciel Stéréowin 1.2. La figure ci-contre illustre bien ce qui est dit plus haut.

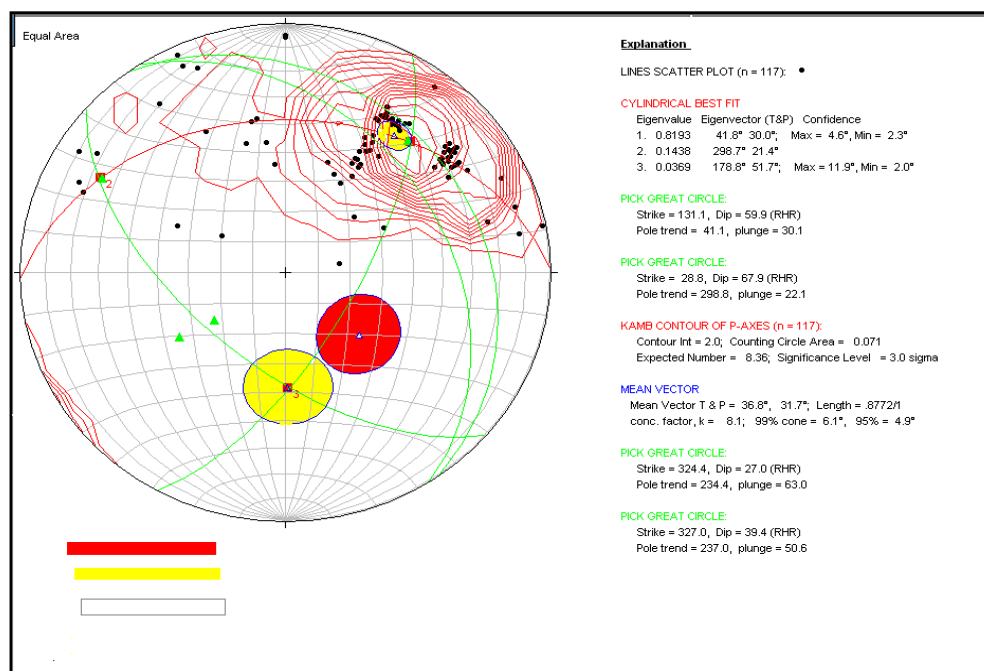


Fig. 5. Champ de glissement



Avec :

φ (Angle de frottement interne).

$$\varphi = 90^\circ - 2\alpha$$

$\alpha = 38,8^\circ$ (Angle btwn).

$$\varphi = 90^\circ - 77,6 = 12,4^\circ$$

$$\varphi = 12,4^\circ$$

$$\sigma_1 = 41,8^\circ / 30,0^\circ$$

$$\sigma_2 = 298,7^\circ / 21,4^\circ$$

$$\sigma_3 = 178,8^\circ / 51,70^\circ$$

Plan axial $132,5^\circ / 60,3^\circ$

Premier cyclogramme de glissement $29,1^\circ / 68,6^\circ$

Deuxième cyclogramme de glissement $324,4^\circ / 27,0^\circ$

En conclusion, nous pouvons déduire que Kabulungu présente une seule direction préférentielle majeure des cassures ($N36^\circ$).

L'étude minutieuse des résultats prouve qu'il y aura eu variation de la direction suivant chaque zone des cassures, ce qui prouve que le terrain de Kabulungu est instable. La contrainte principale orientée ENE-WSW, qui correspond à la direction préférentielle de déplacement sur le terrain et qui est maximale, serait à la base de la déformation majeure cassante et cisailante.

Kabulungu est généralement faillé et la direction principale de la plupart des failles est Est-Ouest : ce qui veut dire que le mouvement étant à l'origine de ces accidents tectoniques était dirigée dans ce sens et comme conséquence, le décrochement de la dolomie chertreuse stratifiée. En plus, on remarque que les forces secondaires étaient dirigées vers le nord-est et le sud-ouest. C'est le cas de la faille affectant la dolomie quartzeuse du R.4.1 et la dolomie gréseuse du R.3.3.

5 ARCHITECTURE GÉNÉRALE

Kabulungu est une formation bréchique de direction tendant d'Est-Ouest sur l'anticlinal du même nom (François, 1973). Le flanc sud de l'anticlinal a été poussé au-dessus du flanc Nord le long de la faille Est-Ouest affectant le noyau de l'anticlinal. Seulement on observe le toit (flanc Nord) de la faille en surface. Il est composé par une succession de formations du groupe de Kundelungu (Ku.), recouverte par le groupe de Mwashya (R.4) qui sont à leur tour recouvert par le grand conglomérat (Ng.1.1) du groupe de Nguba.

Les contacts entre ces unités stratigraphiques sont altérés.

5.1 INVERSION D'EFFORT TECTONIQUE

Chaque ensemble de rupture a été inversé et le nombre d'effets est toujours le même que le nombre de groupes qui les a séparés.

La rupture la plus récente comporte peu de données en ce qui concerne les failles de glissement. Ceci a un impact négatif sur la qualité du résultat de contraintes (L. Kipata, 2013 ; L. Kipata et al., 2012).

5.2 RÉSULTATS

L. Kipata (2012) démontre que quatre sortes de tenseur d'effort sont dérivées de la fragilité des données (le schéma 4,44). D'abord l'étape fragile est due à une compression pure de direction NW-SE (l'index de régime d'effort, $R' = 2,71$) représentée par seulement 5 failles mesurées dans le contact strié entre le grand conglomérat et la dolomie siliceuse du Mwashya.

Une faille se réactive dans les shales et elle a masqué la zone de faiblesse (le plan de compression), ayant amené les oxydes et la malachite. La qualité du degré de la contrainte de compression est infime en raison du petit nombre de la population des données récoltées le long de la faille chevauchante.

Le deuxième événement fragile (plan de glissement, $R' = 1,59$; NNE-SSW ; SH max) se compose de 22 fractures enduites de la malachite et les oxydes noirs.

Le tiers de sous-ensemble se compose de 13 fractures non minéralisées observées au contact du Mwashya et du Nguba avec des stries profonds et de plissements qui sont minéralisés au dedans par la malachite dans les zones de transitions. Ceci donne une normale qui désapprouve la solution du plan de contrainte SH min dirigé dans le sens Est -Ouest ($R' = 0,53$).

Le dernier sous-ensemble contient 11 fractures de cisaillement remplies de dendrites de manganèse, quartz et oxydes de Fe, fractures stériles, et joints de tension réactivés envahies par les carbonates et les oxydes de Manganèse.

Il est caractérisé par un régime qui contrarie la normale à la direction NNE-SSO, SH min ($R' = 0,22$).

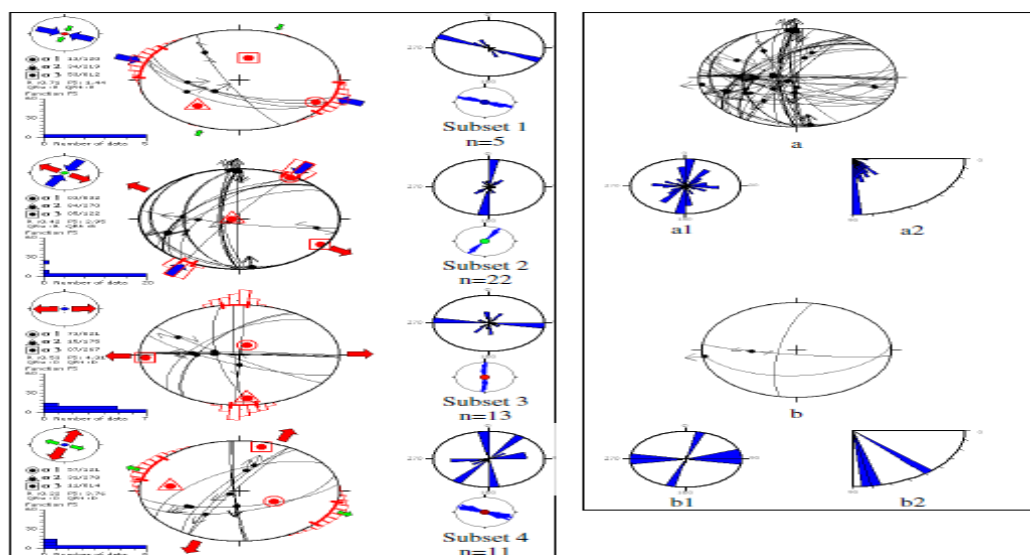


Fig. 6. Plan de contrainte de la région de Kansuki (L. Kipata, 2013)

6 CONCLUSION

Kabulungu est une formation bréchique de direction tendant d'Est-Ouest sur l'anticlinal du même nom (François, 1973). Le flanc sud de l'anticlinal a été poussé au-dessus du flanc Nord le long de la faille Est-Ouest affectant le noyau de l'anticlinal. Seulement on observe le toit (flanc Nord) de la faille en surface.

Il est composé par une succession de formations du groupe de Nguba (Ng.), recouvertes par le groupe de Mwashya (R.4) qui est à son tour recouvert par le grand conglomérat (Ng.1.1) du groupe de Nguba.

Les contacts entre ces unités stratigraphiques sont altérés.

Le rapport de couplage entre les plans de la faille laisse établir une chronologie relativement claire.

L. Kipata (2013) analyse la région de Tilwezembe qui témoigne l'effet cinématique régional de la faille de kansuki. Le long de cette faille ancienne, il observe que le contact de la faille entre la tillite et les dolomies siliceuses est caractérisé par des

plans ayant des stries et des plissements profonds réactivant les plans de couches et sont maculés par des oxydes foncés, des chrysocoles et de la malachite.

REFERENCES

- [1] CAHEN , (1954) , géologie du Congo Belge. Liège. Imprimerie H. Vaillant carmanne. S1. 557p.
- [2] CAILTEUX , J. (1983), Le «Roan » shabien dans la région de Kambove (Shaba, Zaire). Etude sédimentologique et métallogénique. Thèse de Doctorat en Sciences appliquées, Univ. Liège.
- [3] CAILTEUX, J., et al., (1994), "Lithostratigraphy of the neoproterozoic Shaba-type (Zaire) Roan Super-Group metallogenesis of associated mineralization".
- [4] CAILTEUX, J., KAMPUNZU, H.A.B 1995, "the Katangan tectonic breccias in the Shaba province (Zaire) and their genetic significance" Royal museum of central Africa (Belgium), Ann, Soc.Geol. 101: p.63-76.
- [5] FRANCOIS , A., (1973), Extrémité occidentale de l'arc cuprifère Shabien. Etude géologique. Gécamines (éd.), Kasi (Shaba-Zaire), 120p.
- [6] KIPATA , L., et al. , (2012) , brittle tectonic and stress field evolution in the pan-african lufilian arc and its foreland (Katanga, RDC) : from orogenic compression to extensional collapse, transpressional inversion and transition to rifting . geol. Belg . 17p.

Interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques et contribution à l'étude structurale d'un bassin sédimentaire présentant un intérêt pétrolier majeur : Cas du sous-bassin de Busira dans la Cuvette Centrale de la RDC

[Interpretation of gravity anomalies maps and contribution to the structural study of a sedimentary basin of major petroleum interest: Case of the Busira sub-basin in the Central basin of the DR Congo]

Tondozi Keto¹, Eli Achille Manwana Mfumukani², Joseph Ntibahanana Munezero², Mpaka Mananga³, Fulgence Mulopo Shinginyeka⁴, Jean Felix Mupande Kapwa⁵, Ndiadia Kandolo¹, and Mukandila Ngalula¹

¹Department de physique, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

²Department d'Exploration et Production, Faculté de Pétrole, Gaz et Energies Nouvelles, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

³Department de Sciences de base, Institut Supérieur des Techniques Appliquées, Kinshasa, RD Congo

⁴Department de Physique, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

⁵Ministère de Mines, Cadastre Minier, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2018 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: Le présent travail a pour objectif de faire une étude structurale du sous-bassin de Busira en se basant sur l'interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques. Ce sous-bassin qui est une zone d'intérêt pétrolier majeur, est situé dans la Cuvette Centrale de la R.D. Congo. Les valeurs d'anomalies de Bouguer nous ont permis de localiser des zones de hautes et basses intensités qui correspondraient respectivement à des horsts et des fossés. Notons aussi que les changements abrupts d'intensités et les resserrements des courbes d'iso-anomalies constituent les signatures gravimétriques classiques des failles. Pour mieux étudier notre bassin sédimentaire, nous avons recouru à la méthode de séparation régionale-résiduelle. C'est l'interprétation des cartes d'anomalies régionales qui nous a permis de mieux connaître la structure du socle de notre bassin sédimentaire. Ces cartes 2D et 3D d'anomalies régionales ont été élaborées en soustrayant les bruits aux anomalies de Bouguer. L'analyse des valeurs d'intensités d'anomalies régionales, de la forme des courbes d'iso-anomalies et des profils tracés sur ces cartes a abouti à la mise en évidence des zones affaissées (fossés ou grabens) et des zones surélevées (horsts) qui sont séparées par des failles. Nous avons aussi recouru, au traçage des profils sur la carte d'anomalies résiduelles et à des corrélations avec les profils sismiques effectués dans ce secteur permettant de déceler plusieurs structures géologiques d'un très grand intérêt pétrolier. L'application des filtres directionnels nous a permis de localiser avec précision plusieurs failles probables ou autres contacts géologiques et d'établir leurs directions préférentielles.

MOTS-CLEFS: horst, graben, filtrage, faille, profil sismique, contact géologique.

ABSTRACT: The aim of this work is to make a structural study of the Busira sub-basin based on the interpretation of the gravimetric anomaly maps. This sub-basin, which is an area of major oil interest, is located in the Central Basin of the D.R.Congo. The Bouguer anomaly values allowed us to locate areas of high and low intensities which correspond respectively to horsts and

ditches. Note also that the abrupt changes in intensities and the tightening of the iso-anomalous curves constitute the classical gravimetric signatures of the faults. For a better study our sedimentary basin, we used the regional-residual separation method. It is the interpretation of the maps of regional anomalies which allowed us to better know the structure of the basement of our sedimentary basin. These 2D and 3D maps of regional anomalies were elaborated by subtracting the noises to the Bouguer anomalies. Analysis of intensity values of regional anomalies, the shape of the iso-anomaly curves and the profiles traced on these maps resulted in the identification of the collapsed areas (grabens) and raised areas (horsts) that are separated by faults. We also resorted to the tracing gravity profiles on the map of residual anomalies and correlations with seismic profiles made in this area to detect several geological structures of a very large oil interests. The application of the directional filters allowed us to precisely locate several probable faults or others geological contacts and to establish their preferential directions.

KEYWORDS: horst, graben, filtering, fault, seismic profile, geological contact.

1 INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, le bassin sédimentaire de la Cuvette Centrale a fait l'objet des études visant l'amélioration des connaissances sur sa structure et l'évaluation de ses potentialités pétrolières. Ces études, basées sur la géochimie, la géologie et la géophysique ainsi qu'aux forages des puits, ont permis de retenir que ce gigantesque bassin sédimentaire aurait un intérêt pétrolier majeur en mettant en évidence des roches mères potentielles, des voies de migration, des roches réservoirs et des pièges possibles. Cependant, la Cuvette Centrale est subdivisée en plusieurs sous-bassins sédimentaires où nous constatons une absence d'études structurales circonscrites dans chaque sous-bassin, étant donné que les études structurales qui ont été réalisées à l'échelle régionale s'avèrent donc muettes quand il s'agit de donner plus de détails sur les structures géologiques d'une zone relativement moins vaste telle que le sous-bassin du Busira. En considération des problèmes susmentionnés, nous estimons qu'une étude structurale basée sur l'interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques du sous-bassin de Busira, s'avère nécessaire pour améliorer les connaissances à l'échelle de son étendue.

2 METHODOLOGIE ET MATERIELS UTILISES

La méthodologie employée pour la réalisation de cette étude se résume en trois étapes :

- La première étape est celle d'acquisition des données. Elle a consisté à répertorier toutes les stations de mesures gravimétriques localisées dans le sous-bassin de Busira dans une base des données ;
- A la deuxième étape, nous avons procédé au traitement des données et à la cartographie des résultats obtenus. Pour ce faire, nous avons recouru aux méthodes de séparation régionale – résiduelle et de filtrage directionnel pour le traitement des données. La méthode d'interpolation par krigeage nous a été nécessaire pour la cartographie des résultats ;
- La troisième étape c'est celle de l'interprétation des résultats. A cette étape, Il a été question de donner une signification géologique et structurale aux anomalies observées sur les cartes gravimétriques élaborées.

Les logiciels informatiques ci-dessous, nous ont permis d'accomplir ce travail. Il s'agit notamment de : Geosoft Oasis montaj, OriginPro, ArcGis, Golden Surfer, etc.

3 APERÇU GENERALE DU SOUS-BASSIN DE BUSIRA

3.1 CADRE GEOGRAPHIQUE

3.1.1 LOCALISATION

Le sous-bassin de Busira s'étale sur une très grande aire située au Nord-Ouest de la R.D.C (fig.1). Il est entièrement localisé à l'intérieur du bassin sédimentaire de la Cuvette Centrale et il couvre trois provinces qui sont : l'Equateur, la Tshuapa, la Mongala et une partie du Sud Ubangi. Il est situé entre 2° de latitude Nord et 2° de latitude Sud ainsi que 18° et 23° de longitude Est.

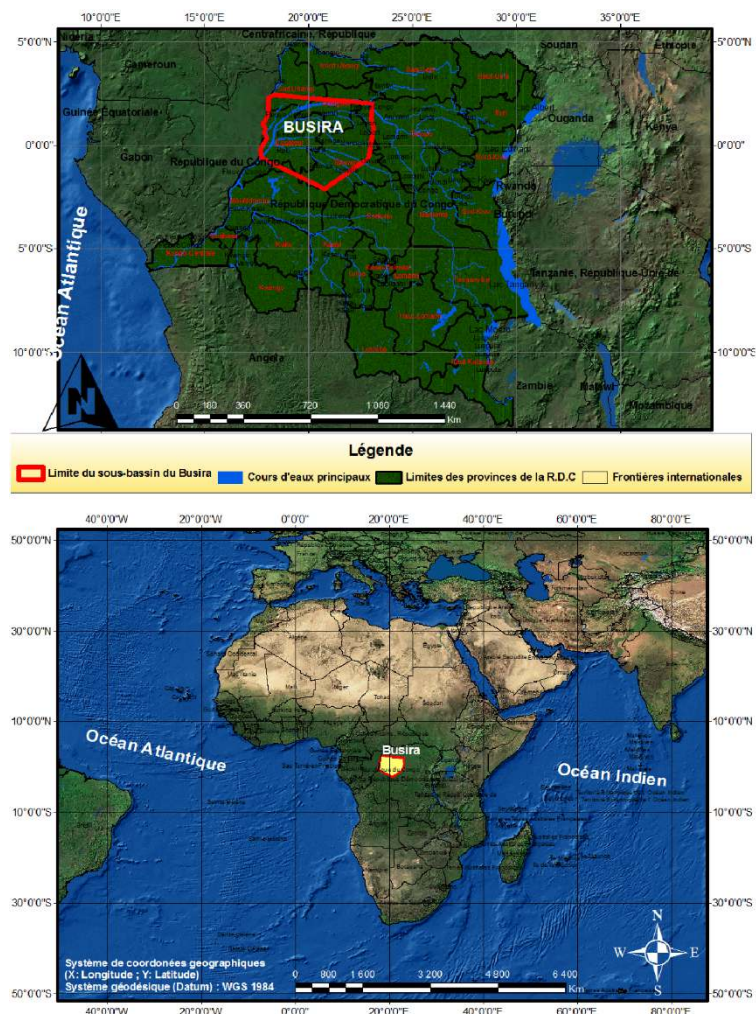


Fig. 1. Localisation géographique du sous-bassin de Busira

3.1.2 RELIEF ET HYDROGRAPHIE

Le sous-bassin de Busira est entièrement situé dans la plaine alluviale de la Cuvette Centrale et sa grande partie est occupée par des basses terres marécageuses ou inondables. Son altitude varie de 300 m à proximité de la rivière Salonga dans la province de la Tshuapa à 500 m toujours dans la Tshuapa.

La zone est traversée par le fleuve Congo qui, avec ses nombreux affluents constituent l'artère vitale du point de vue transport (fig.2). Elle est aussi traversée par un réseau dense de rivières tels que : Salonga, Ikelemba, Tshuapa, Ruki, Lopori, Maringa etc. Il est à noter que ce dense réseau hydrographique a révélé son importance lors de la phase d'acquisition des données sismiques car la majorité des lignes sismiques ont été tracées le long des principaux cours d'eaux qui arrosent cette zone à végétation luxuriante.

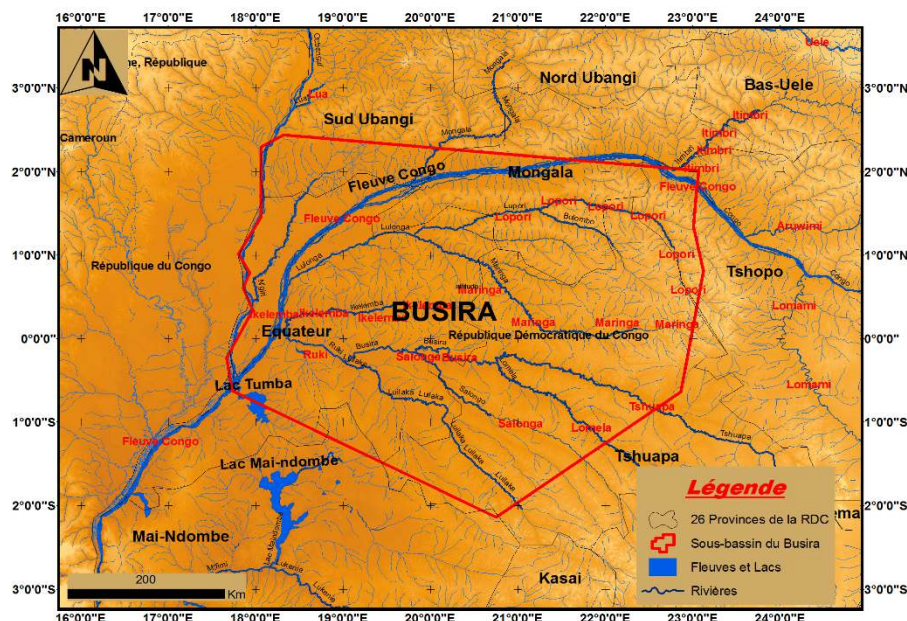


Fig. 2. Carte hydrographique du sous-bassin de Busira

3.1.3 VEGETATION ET CLIMAT

Le sous-bassin de Busira est situé en pleine forêt équatoriale et sa végétation est dominée par la forêt dense humide de type ombrophile sempervirente. On y observe aussi des forêts inondables et/ou marécageuses qui longent des rivières et des ruisseaux.

L'ensemble du paysage connaît un climat de type équatorial de la zone Af selon la classification de Koppen, avec une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 2000 mm et une saisonnalité peu marquée. Dans cette zone, la saison sèche est quasi inexistante mais on y enregistre une diminution des pluies en Janvier et Février. La période la plus humide va d'Août à Octobre et la durée de la période la moins pluvieuse (Janvier-Février) est inférieure à 2 mois (COMIFAC, 2005[1]).

3.2 CADRE GEOLOGIQUE

Des études géologiques, géophysiques et géochimiques relativement récentes ainsi que les forages des puits d'exploration et stratigraphiques ont contribué à la compréhension de la géologie du bassin sédimentaire de la Cuvette Centrale. Une carte géologique simplifiée de notre zone d'étude a donc été élaborée à l'issue de ces études (fig.3).

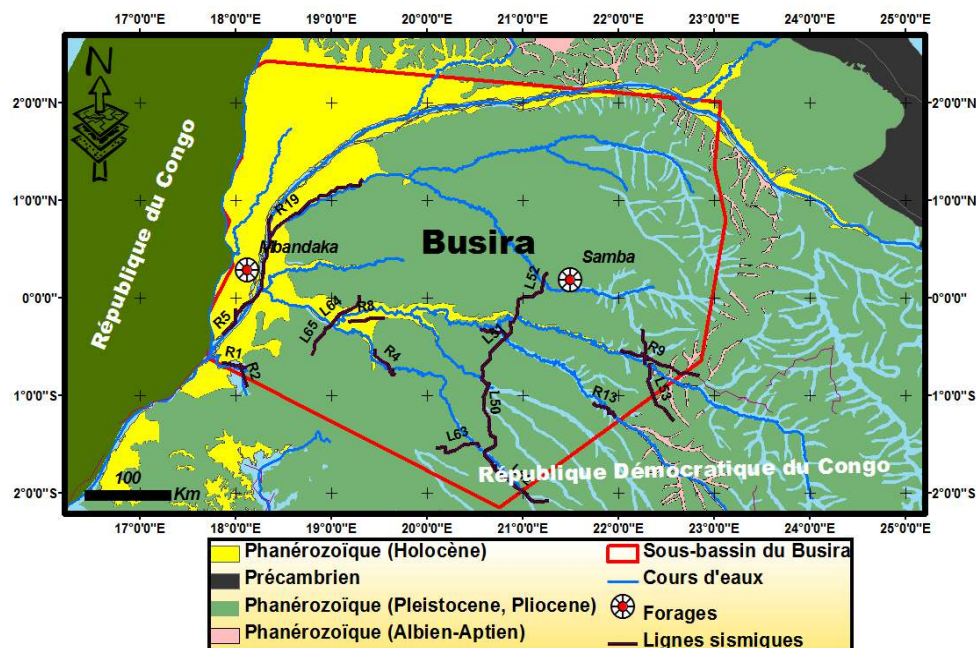


Fig. 3. Carte géologique simplifiée du sous-bassin de Busira

Sur cette carte, nous remarquons que l'Ouest du sous-bassin est occupé par des sédiments quaternaires (Holocène) beaucoup plus récents tandis que sa plus grande partie contient des sédiments tertiaires (Pliocène) et quaternaires (Pléistocène).

Sa stratigraphie commence par les formations du Néoprotérozoïque et se termine par des grès et des sables ocres d'origine fluviatile et éolienne beaucoup plus récents (tertiaires et quaternaires).

Quatre puits ont été forés dans la Cuvette Centrale (ENI, 2011[2]) dont deux sont localisés dans le sous-bassin du Busira. Il s'agit des forages Samba (profondeur totale : 2038 m) et Mbandaka (profondeur totale : 4350 m) qui sont respectivement stratigraphique et d'exploration. Ce dernier qui est le plus profond n'a jamais atteint le socle cristallin, il s'est plutôt arrêté dans les dépôts massifs de sel.

3.3 INTERET PETROLIER

Les études géochimiques faites par Victoria SASCHE and al. 2012[3], sur base des échantillons de roches issus du forage stratigraphique de Samba, ont mis en évidence des roches mères potentielles avec d'excellentes valeurs de T.O.C et des indices d'hydrogène élevés reflétant le kérogène de bonne qualité (type I ou II), notamment pour les groupes de Stanleyville et Loia. D'autres études géochimiques antérieures réalisées dans la Cuvette Centrale par JNOC en 1984 et 1986 [4], ECL en 1988 [5] et HRT en 2007 [6] ont identifié les argilites d'Alolo, de Mamungi et de Kole comme des roches mères potentielles. Ces formations ont été traversées par le forage d'exploration de Mbandaka.

Plusieurs études géophysiques et géologiques réalisées dans la Cuvette Centrale (JNOC, 1984 et 1986 ; ENI, 2011 ; Kadima and al., 2011 et 2015 [4], [2], [7]) ont pu mettre en évidence des structures géologiques pouvant constituer des pièges et des voies de migration dans le sous-bassin du Busira.

4 TRAITEMENT DES DONNEES ET CARTOGRAPHIE DES RESULTATS OBTENUS

4.1 PRESENTATION DES DONNEES

Les données gravimétriques utilisées dans ce travail ont été acquises par la voie terrestre. Cette acquisition des données fut l'œuvre de la Société de Recherche Minière en Afrique (REMINA) entre les années 1952 et 1956. D'après le Secrétariat Général aux Hydrocarbures (R.D.C), le levé qui a produit ces données est localisé dans les sous-bassins de Busira et de Lokoro. Dans le sous-bassin de Busira nous avons répertorié plus de 1300 mesures gravimétriques.

Ces données nous ont été procurées par le Laboratoire de SIG et Cartographie Numérique de la Faculté de Pétrole, Gaz et Energies Nouvelles de l'Université de Kinshasa en collaboration avec la Société Nationale des Hydrocarbures (SONAHYDROC) et sont présentées sur une base de données en format MS Excel. Le tableau 1 ci-dessous montre la structure de la base de données gravimétriques utilisées. Notons cependant qu'il n'est pas aisé de représenter l'ensemble de ces données dans ce travail suite à leur multitude, ce qui justifie le choix des 10 premières stations, à titre illustratif.

Tableau 1 : Représentation et structure des données gravimétriques utilisées

N°	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Gravité (mGal)	Air libre (mGal)	Bouguer (mGal)
01	20,9767	-1,92	436	977865,9	-59,5	-100,1
02	20,945	-1,88	321	977877	-61,2	-97,1
03	20,9217	-1,8567	353	977868,6	-59,6	-99,1
04	20,865	-1,7967	341	977869,8	-61,8	-99,9
05	20,8267	-1,7533	319,5	977876,3	-61,8	-99,9
06	20,8083	-1,7233	345,5	977870	-59,7	-97,3
07	20,755	-1,7033	314,5	977876,6	-62,5	-98,4
08	20,7267	-1,6733	329	977872,1	-62,5	-97,7
09	20,6933	-1,6433	312,5	977875,4	64,1	-99,3
10	20,95	-1,62	312	977876,8	-62,7	-99,1

4.2 TRAITEMENT DES DONNEES

En prospection gravimétrique, le traitement des données a pour but de séparer les anomalies, de mieux préciser les profondeurs des sources, de représenter les limites géologiques telles que les contacts ou les failles, etc. (J. Dubois, 2011[8]). Une panoplie de méthodes de traitement est donc disponible selon le but recherché. L'objectif de ce travail étant de faire l'étude structurale d'une zone d'intérêt pétrolier majeur, nous avons utilisé les méthodes de séparation régionale-résiduelle et de calcul du gradient horizontal (filtrage directionnel) des anomalies de Bouguer.

4.2.1 SEPARATION REGIONALE-RESIDUELLE

Une fois toutes les corrections appliquées sur les données gravimétriques brutes, on obtient une carte de l'anomalie de Bouguer qui montre en général deux caractéristiques (Chouteau, 2002 [9]) :

- Des variations régulières et continues du champ gravitationnel sur de grandes distances appelées « anomalies régionales ». Elles sont produites par les hétérogénéités à grandes profondeurs ;
- Superposées à ces anomalies régionales, et souvent masquées par celles-ci, on observe aussi des petites perturbations locales du champ gravitationnel qui sont petites en dimensions mais primordiales. Elles sont appelées « anomalies résiduelles » et sont produites par des structures superficielles.

Les anomalies régionales correspondent aux basses fréquences du signal total. Elles sont rehaussées pour étudier la structure du socle métamorphique ou magmatique d'un bassin sédimentaire. Quant aux anomalies résiduelles qui correspondent aux hautes fréquences du signal total, elles sont analysées pour faire l'étude des structures géologiques de faible profondeur situées généralement dans la couverture sédimentaire. Nous comprenons dès lors que nous pouvons raisonner en termes de fréquence et soumettre les données d'anomalies de Bouguer à une analyse qui recherchera des fréquences en provenance de différents niveaux, les hautes fréquences appartenant aux anomalies résiduelles et les basses fréquences appartenant aux anomalies régionales.

Dans notre cas, nous avons appliqué les filtres fréquentiels passe-bas et passe-haut sur les données d'anomalies de Bouguer. Ces filtres fréquentiels effectuent donc une distinction précise dans le domaine des fréquences pour un signal d'entrée donné (Philip Kearey, 2002[10]). Les filtres passe-bas ont éliminé les hautes fréquences du signal et ont effectué un lissage des contours d'isoanomalies. Ce genre de filtre donne donc des cartes de contours plus lisses que celles du signal total. Quant aux filtres passe-haut, ils ont enlevé les variations de fond et rehaussé certains détails de faible profondeur. C'est ainsi que sur base de cette méthode de séparation régionale-résiduelle nous avons élaboré des cartes d'anomalies régionales et résiduelles de notre zone d'étude (fig.4).

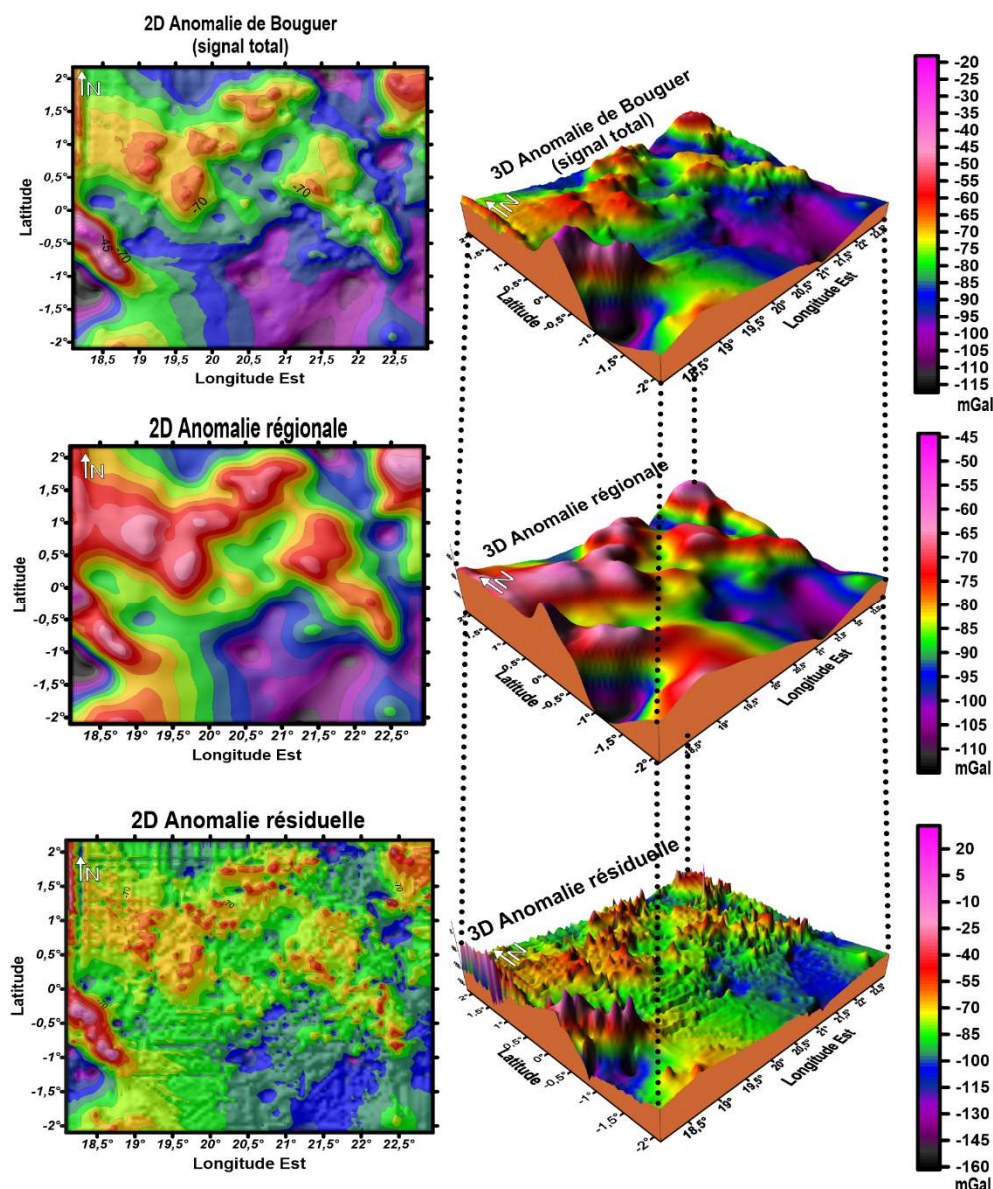


Fig. 4. Séparation régionale - résiduelle des anomalies

4.2.2 FILTRAGE DIRECTIONNEL DES ANOMALIES DE BOUGUER

En imagerie géophysique, plus précisément en gravimétrie, l'application des filtres directionnels est la méthode la plus efficace dans la détection des contacts entre blocs de densités différentes (linéaments gravimétriques) et l'établissement de leur direction préférentielle. La confirmation sur la nature géologique de ces contacts étant l'œuvre de l'intégration de toutes les données géologiques (structurales, stratigraphiques, etc.) et géophysiques (sismiques, magnétométriques, gravimétriques, etc.) de la zone étudiée, ces contacts sont considérés en gravimétrie comme des failles probables.

Ces filtres directionnels calculent les gradients horizontaux des anomalies de Bouguer. En effet, au-dessus d'un contact vertical l'anomalie est matérialisée par une courbe ayant un minimum du côté des roches de faible densité et un maximum du côté des roches de densité élevée (N. El Goumi et al., 2010[11]). Le point d'inflexion de la courbe se trouve à l'aplomb de ce contact. Cependant, après calcul du gradient horizontal, cette anomalie devient un maximum, ce qui facilite la cartographie du contact. L'avantage de ces filtres directionnels est qu'après calcul du gradient horizontal, les anomalies deviennent maximales à l'aplomb des contacts ou des failles tels que de part et d'autre existe un contraste de densité. C'est ce qui facilite et améliore la perception et la cartographie de ces contacts à partir des données d'anomalies de Bouguer. Ainsi pour tenter de mettre en

évidence un nombre maximum de failles probables dans notre secteur d'étude, nous avons procédé aux filtrages dans 4 directions : N-S ; E-W ; NE-SW ; NW-SE.

4.3 CARTOGRAPHIE DES RESULTATS OBTENUS

En prospection gravimétrique, comme dans toute autre investigation géophysique, il est obligatoire de présenter les résultats obtenus sous forme des cartes. Ceci dans le but de faciliter la visualisation et l'interprétation de la variation du paramètre géophysique calculé et/ou mesuré. C'est dans cette optique que nous avons présenté les résultats des traitements évoqués ci-haut de manière claire sur des cartes. Les stations gravimétriques de notre zone d'étude étant aléatoirement espacées car elles avaient été acquises par la voie terrestre le long des voies accessibles (routes et cours d'eaux), Il nous a donc été indispensable de convertir ces données ponctuelles en grille en choisissant la méthode d'interpolation adéquate pour mieux les cartographier.

La méthode d'interpolation choisie est le krigeage car elle permet l'interpolation exacte des données (estimation ponctuelle) et la propriété de lissage qui implique que les valeurs estimées sont moins dispersées que les valeurs vraies connues. Les cartes élaborées ici seront présentées au point 5 de ce travail.

5 INTERPRETATION DES CARTES D'ANOMALIES GRAVIMETRIQUES

Les cartes d'anomalies gravimétriques sont les documents de base pour toute interprétation en prospection gravimétrique. Le but de leur interprétation est de trouver la distribution des sources : contrastes de densité et géométries qui créent les anomalies observées en surface. En effet, Les anomalies gravimétriques sont sensibles aux contrastes de densité du sous-sol et les sources principales qui les induisent dans un bassin sédimentaire sont les structures géologiques (fig.5).

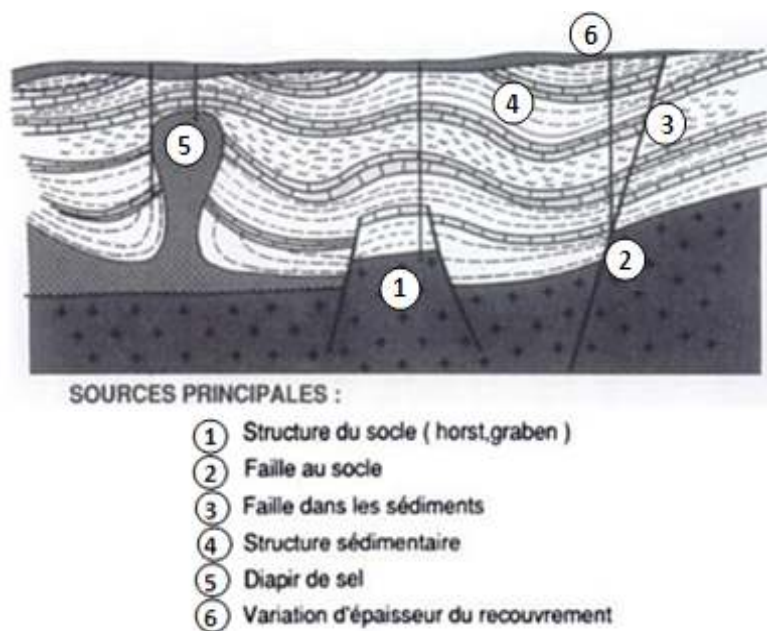


Fig. 5. Illustration des sources principales des contrastes de densité dans un bassin sédimentaire (G. Henry, 1994 [12])

Nous comprenons donc que pour faire une étude structurale d'une région donnée à l'aide de la gravimétrie, il faudra rechercher minutieusement, sur les cartes d'anomalies gravimétriques, toutes les signatures gravimétriques qui expriment la présence des structures géologiques. C'est ainsi que nous avons fait l'interprétation de toutes les cartes gravimétriques élaborées à l'issue des procédés de traitement de données (corrections, filtrages, interpolation, etc.) pour faire une étude structurale plus complète.

5.1 LA CARTE D'ANOMALIES DE BOUGUER (SIGNAL TOTAL)

5.1.1 INTERPRETATION EN FONCTION DE L'INTENSITE ET LA FORME DES COURBES D'ISO-ANOMALIES

En fonction de l'intensité des anomalies, nous constatons sur les cartes d'anomalies de Bouguer (fig.6) que le Sud de notre sous-bassin est dominé par les anomalies légères variant entre -115 mGals et -96 mGals (couleur mauve foncée) précisément dans les territoires de Boende, Bokungu et Monkoto. Cependant, nous remarquons que les parties centrale et occidentale de notre sous-bassin sont caractérisées par des valeurs élevées d'anomalies de Bouguer.

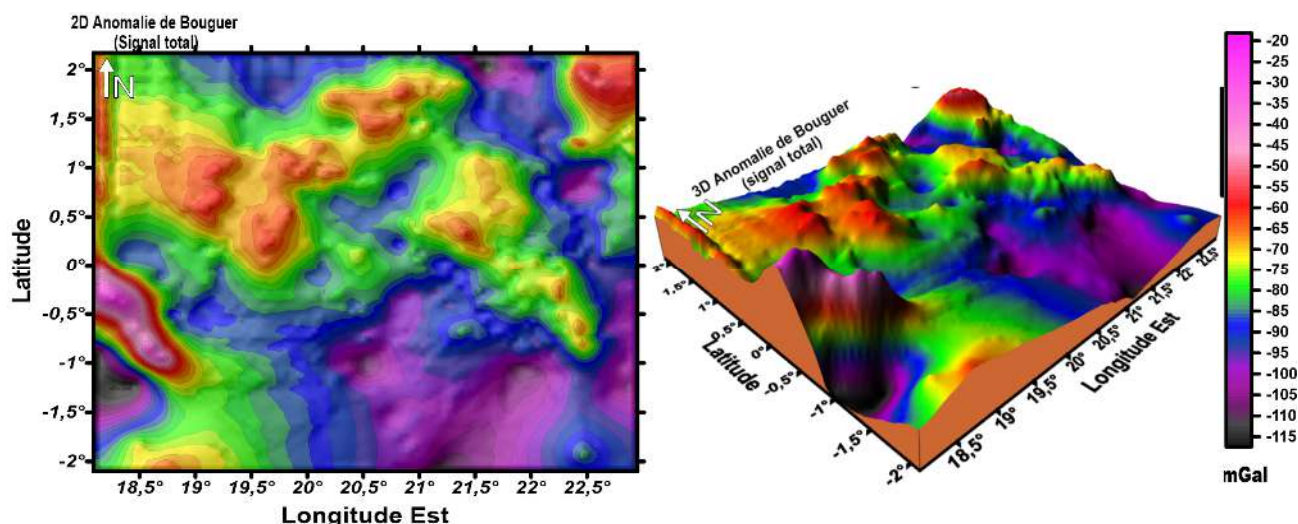


Fig. 6. Cartes d'anomalies de Bouguer (signal total) représentées en fonction de l'intensité

En fonction de la forme des contours d'iso-anomalies, la carte ci-dessous (fig.7) met en évidence des anomalies quasi-circulaires concentriques et des anomalies linéaires.

La forme de contours d'iso-anomalies prédominante est la forme linéaire. Quant aux anomalies quasi-circulaires concentriques, elles sont observées vers l'Est, le centre et le Sud de la zone d'étude. Cette carte met aussi en évidence des zones de resserrement des courbes d'iso-anomalies qui peuvent être interprétées comme étant des contacts entre des matériaux de densités différentes ou des failles. A l'Ouest, une structure gravimétrique particulière est bien identifiée aussi bien sur la carte en couleurs que sur celle des contours d'iso-anomalies. Elle a une forme elliptique à courbes concentriques et est caractérisée par une augmentation considérable des valeurs d'intensités d'anomalies (haut gravimétrique). Nous constatons la présence des zones de resserrement des courbes d'iso-anomalies autour de cette structure concentrique. Ces zones, qui mettent en évidence un énorme contraste de densité entre le haut gravimétrique et les matériaux environnants, ont des signatures gravimétriques se rapprochant nettement de celles des failles.

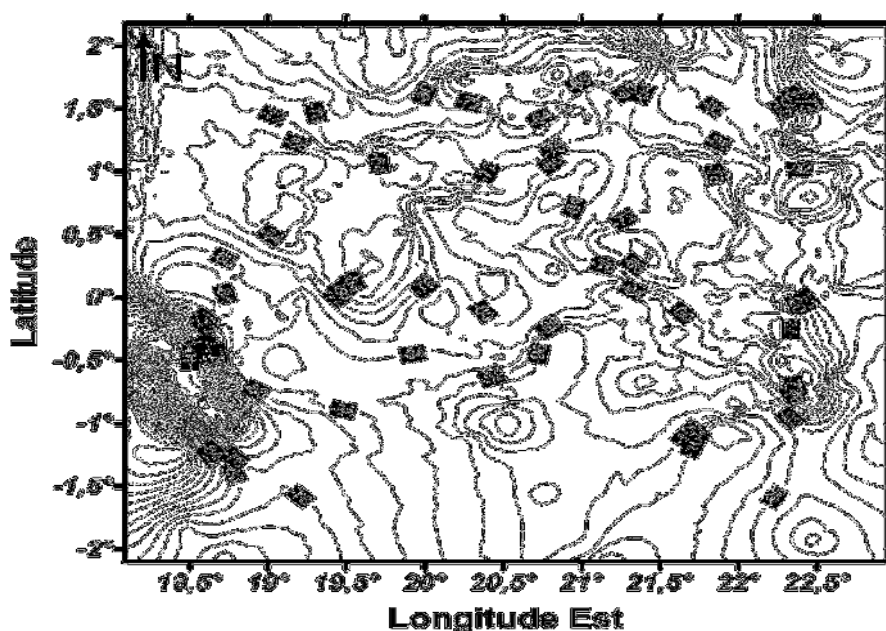


Fig. 7. Carte d'anomalies de Bouguer (signal total) représentée en fonction des courbes d'iso-anomalies

5.2 LA CARTE D'ANOMALIES REGIONALES

5.2.1 INTERPRETATION EN FONCTION DE L'INTENSITE ET LA FORME DES COURBES D'ISO-ANOMALIES

En analysant la carte d'intensités d'anomalies régionales en 2D et en 3D (fig.8), nous constatons une petite ressemblance avec les cartes d'intensités d'anomalies de Bouguer (signal total). Malgré cette ressemblance palpable des deux types de cartes, nous remarquons cependant que le relief de la carte d'anomalies régionales comporte moins d'aspérités que celui de la carte d'anomalies de Bouguer (signal total). Ce lissage du relief de la carte d'anomalies régionales prouve que les bruits de hautes fréquences liés aux anomalies superficielles de courte longueur d'onde ont été éliminés grâce à l'application du filtre passe-bas sur le signal total.

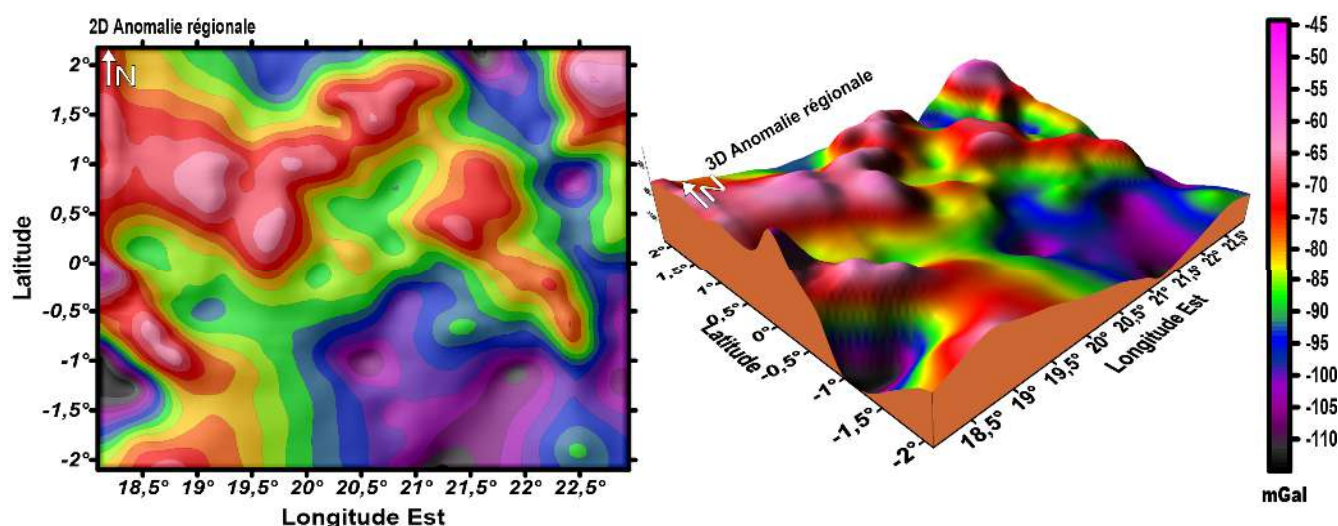


Fig. 8. Cartes d'anomalies régionales représentées en fonction de l'intensité

Sur cette carte nous remarquons la présence des matériaux de forte densité mise en évidence par des valeurs élevées d'anomalies régionales dans les parties centrale et occidentale de notre sous-bassin. Le grand fossé identifié sur les cartes

d'anomalies de Bouguer devient très nette sur notre carte d'anomalies régionales. Nous trouvons donc qu'il s'agirait d'une énorme dépression au socle du sous-bassin du Busira.

Sur la carte de contours d'anomalies régionales (fig.9), nous observons quasiment la même disposition des contours que sur la carte du signal total. Cependant, nous constatons que les contours d'iso-anomalies de cette carte sont plus lisses que sur la carte du signal total. La structure de forme elliptique à courbes concentriques identifiée à l'Ouest de notre zone d'étude sur la carte de contours du signal total apparaît moins nette sur cette carte de contours d'anomalies régionales. Notons que l'atténuation de l'effet de cette zone anormale sur une carte représentant les variations des masses géologiques profondes révèle que ce haut gravimétrique est une gigantesque structure localisée probablement dans la couverture sédimentaire.

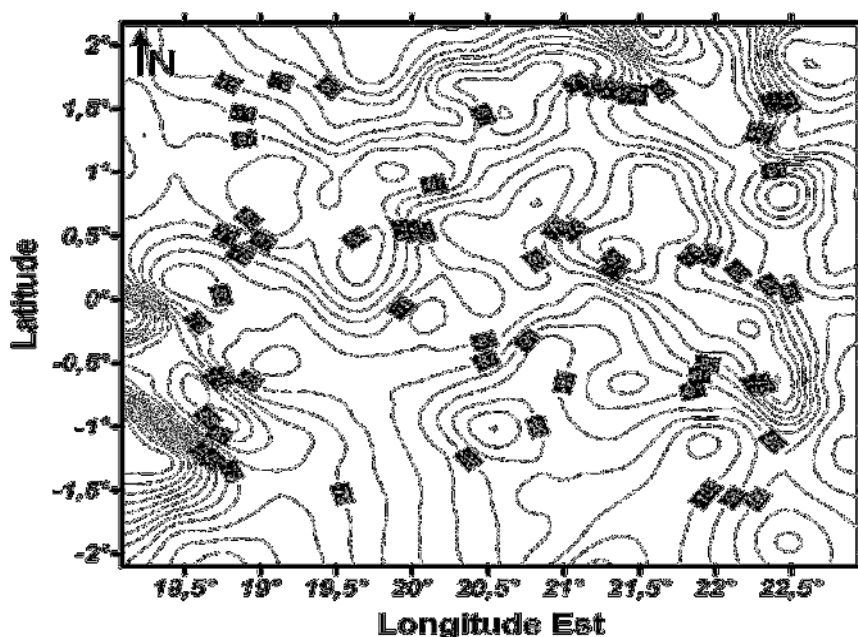


Fig. 9. Carte d'anomalies régionales représentée en fonction des courbes d'iso-anomalies

5.2.2 INTERPRETATION EN FONCTION DES PROFILS

Les profils gravimétriques sont très importants dans le suivi des signatures gravimétriques de plusieurs modèles structuraux. Ainsi, dans le but de recouper toutes les formes d'anomalies (linéaires et quasi-circulaires) et de couvrir l'ensemble de notre sous-bassin pour mieux étudier l'aspect structural du socle précambrien, nous avons tracé trois longs profils gravimétriques sur notre carte d'anomalies régionales : Les profils A-B, M-N et P-Q.

5.2.2.1 PROFIL A-B

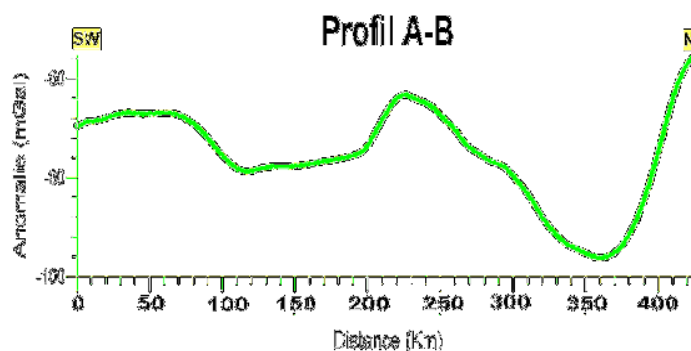


Fig. 10. Profil A-B

Le profil A-B ci-dessus (fig.10), ayant une orientation SW-NE, recoupe principalement la partie Nord de notre zone d'étude. On remarque la présence d'une inflexion de la courbe où la valeur de l'anomalie décroît de -64 à -80 mGals sur la distance comprise entre 60 de et 110 Km mettant en évidence un contraste de densité se rapprochant nettement de la signature gravimétrique d'une faille.

Au milieu de notre profil, nous remarquons la présence d'un haut gravimétrique et à l'Est du profil nous observons une forte dépression gravimétrique avec des valeurs qui atteignent -98 mGals. Une telle dépression est une signature gravimétrique caractéristique d'un fossé.

5.2.2.2 PROFIL M-N

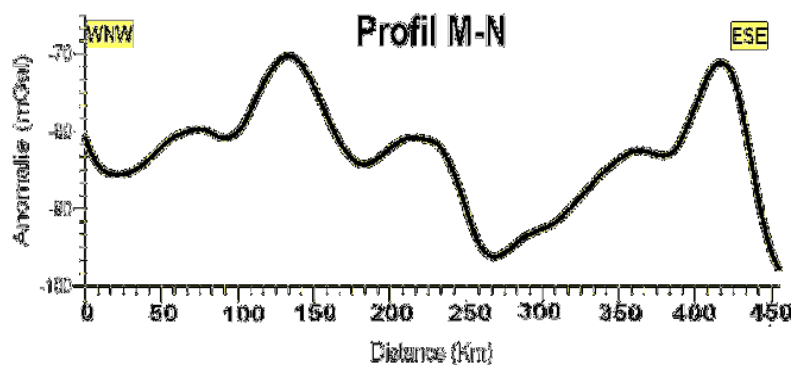


Fig. 11. Profil M-N

Le profil M-N ci-dessus (fig.11), ayant une orientation WNW-ESE, est tracé dans la partie centrale de notre sous-bassin. On y observe une courbe d'anomalie très fluctuante et accidentée mettant en évidence plusieurs hauts et dépressions gravimétriques. Ces fluctuations sont probablement induites par la présence des failles au niveau du socle. Nous remarquons également un très grand contraste de densité mis en évidence par l'inflexion de la courbe sur la distance comprise entre 230 et 260 Km. Cette zone où le contraste d'anomalie est très fort (-80 et -96 mGals respectivement pour la partie élevée et la partie affaissée) révèle la signature gravimétrique d'une énorme faille au socle.

5.2.2.3 PROFIL P-Q

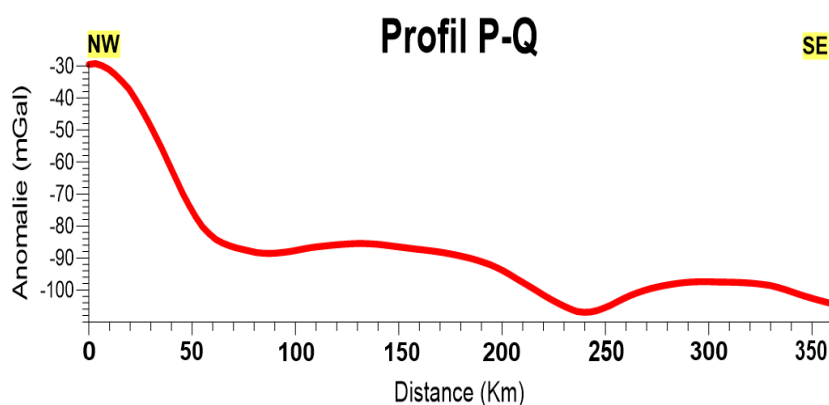


Fig. 12. Profil P-Q

Le profil P-Q ci-dessus (fig.12), ayant une orientation NW-SE et tracé au Sud de notre zone d'étude, nous remarquons de très grandes valeurs d'anomalies à l'Ouest du profil. Cette zone représente l'endroit où les valeurs d'anomalies régionales sont les plus élevées dans le sous-bassin de Busira. On constate en revanche, une décroissance significative des valeurs d'anomalies

régionales dans toute la région située à l'Est du haut gravimétrique avec d'importantes anomalies négatives sur une grande distance. Il s'agit de la signature gravimétrique d'une grande dépression localisée au Sud de notre sous-bassin avec des anomalies inférieures ou égales à -90 mGal.

5.3 LA CARTE D'ANOMALIES RESIDUELLES

5.3.1 INTERPRETATION EN FONCTION DE L'INTENSITE

Rappelons que les sources génératrices de ces anomalies de faibles longueurs d'ondes sont généralement les structures géologiques localisées dans la couverture sédimentaire (dôme de sel, failles, plis, etc.). La carte d'anomalies résiduelles (fig.13) a donc été obtenue en faisant la différence entre l'anomalie de Bouguer et l'anomalie régionale.

En fonction de l'intensité des anomalies, nous observons des anomalies de faible amplitude à variation rapide latérale. Le haut gravimétrique visible de manière nette sur la carte d'anomalies de Bouguer (signal total) y est aussi représenté. On y voit également des creux gravimétriques de très faible extension marquant la présence des matériaux superficiels de faible densité.

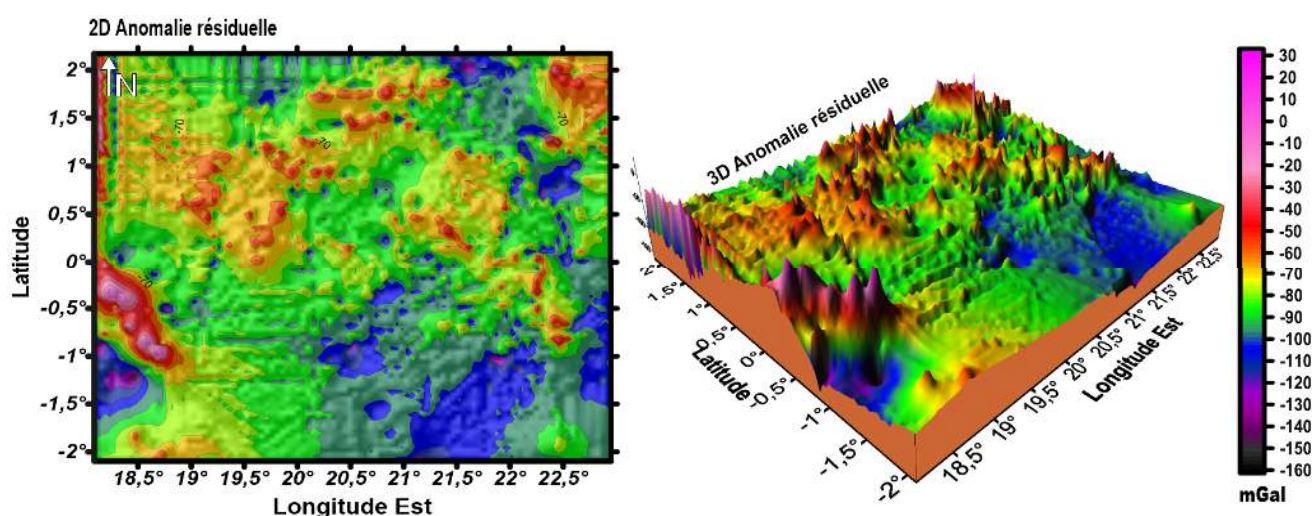


Fig. 13. Cartes d'anomalies résiduelles représentées en fonction de l'intensité.

5.3.2 INTERPRETATION EN FONCTION DES PROFILS

Pour renforcer notre interprétation, nous avons tracé les profils gravimétriques **C-D** et **E-F** sur notre carte d'anomalies résiduelles et nous les avons corrélés respectivement avec les profils sismique-réflexions **R13** et **R5** situés aux mêmes endroits et orientés dans les mêmes directions.

5.3.2.1 PROFIL C-D

Le profil C-D d'anomalies résiduelles a été tracé au même endroit et dans la même orientation que le profil sismique-réflexion de la ligne R13 dans le but de faciliter la corrélation (fig.14).

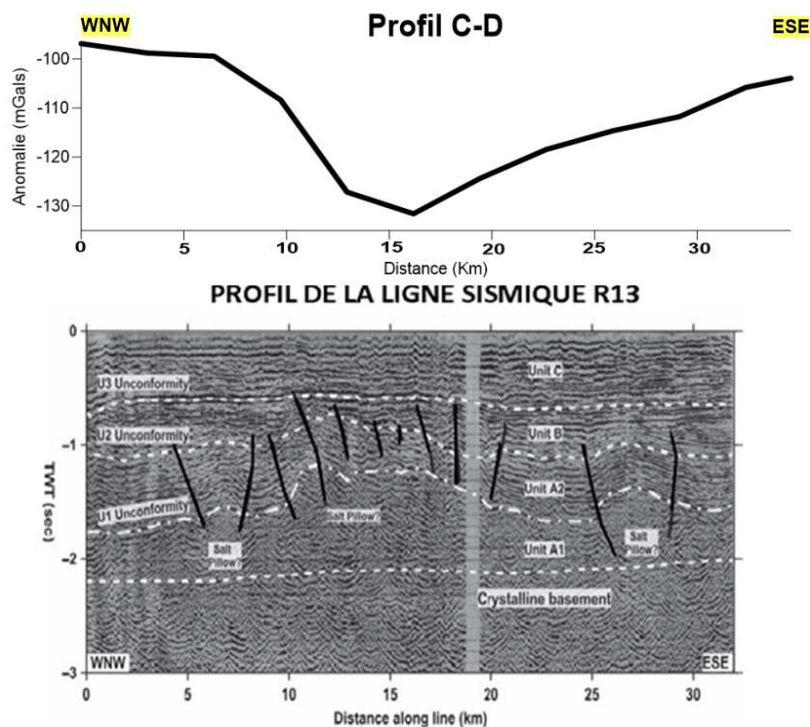


Fig. 14. Corrélation du profil C-D avec le profil sismique R13
(Source du profil sismique : (Kadima & al., 2011[7])

Au milieu du profil gravimétrique, nous observons un enfoncement de la courbe d'anomalies révélant la présence d'un matériau de très faible densité. L'ampleur de cet enfoncement des valeurs d'anomalies résiduelles nous révèlent que le corps perturbateur est une gigantesque masse de faible densité. La corrélation avec le profil sismique de la ligne R13 nous montre que ces faibles valeurs d'anomalies résiduelles résultent probablement d'un dôme de sel. Ce profil sismique met aussi en évidence plusieurs discontinuités d'impédances acoustiques qui sont interprétées (hormis celles étant horizontales représentant des discordances majeures) comme étant des failles, et met également en évidence plusieurs structures plissées. Ces structures sont certainement générées par la tectonique salifère.

En outre, en faisant une analyse visuelle de la carte d'anomalies résiduelles, nous remarquons que le haut gravimétrique localisé à l'Ouest de notre zone d'analyse "kiri high" apparaît de manière nette. Cette structure apparaît comme une montagne de haute intensité gravimétrique orientée dans une direction NW-SE sur cette carte. Notons que ce haut gravimétrique était déjà localisable sur la carte du signal total cependant elle apparaît plus large mais moins intense sur la carte d'anomalies régionales (fig.15).

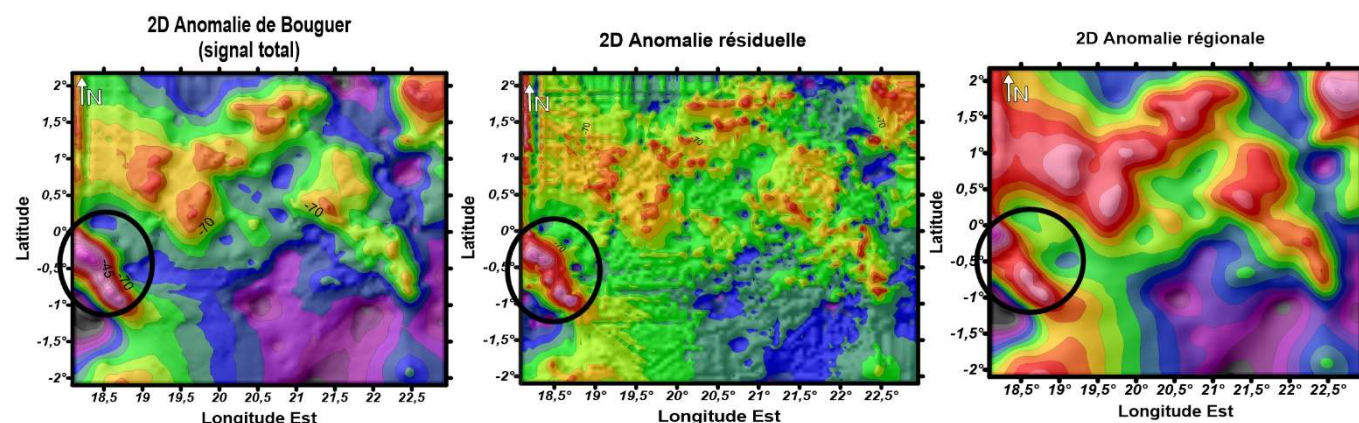


Fig. 15. Localisation du KIRI HIGH sur les cartes d'anomalies gravimétriques

Pour mieux interpréter cette signature gravimétrique particulière, nous avons tracé un profil d'anomalies résiduelles pour suivre la signature gravimétrique de la couverture sédimentaire et un profil d'anomalies régionales pour suivre la signature gravimétrique du socle à cet endroit. La figure 16 ci-dessous nous montre les signatures gravimétriques régionale et résiduelle de cette zone.

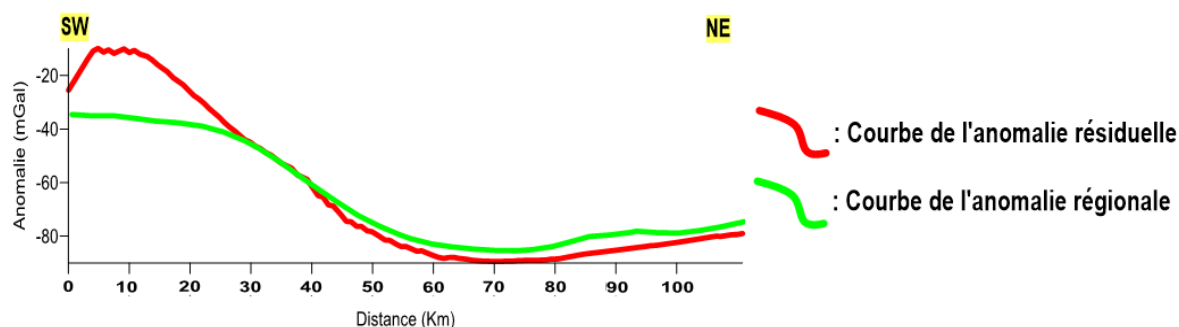


Fig. 16. Signatures gravimétriques régionale et résiduelle du KIRI HIGH

A l'issue de cette figure, nous pouvons ressortir les observations suivantes :

- Sur la courbe d'anomalies régionales, il y a une faible variation d'anomalies entre la structure étudiée et son environnement. Notons aussi que sur cette courbe, toutes les valeurs sont négatives (le pic des valeurs étant de -45 mGals). Nous pouvons alors dire qu'il s'agit de la signature gravimétrique d'un faible soulèvement du socle car un important uplift de celui-ci induirait d'importantes anomalies régionales positives.
- Cependant, la courbe d'anomalies résiduelles nous montre de hautes intensités d'anomalies au-dessus de cette structure. En gravimétrie cette situation peut être interprétée de diverses manières, raison pour laquelle nous allons corrélater ce profil, que nous appelons E-F, avec le profil sismique de la ligne R5 (fig.17).

5.3.2.2 PROFIL E-F

Sur la corrélation de la figure 17 ci-dessous, nous voyons que les grandes valeurs d'anomales résiduelles sur le profil E-F se raccordent parfaitement avec la zone où il y a absence de réflecteurs ou discontinuités majeurs (poorly defined seismic zone "kiri high") sur le profil de la ligne sismique R5.

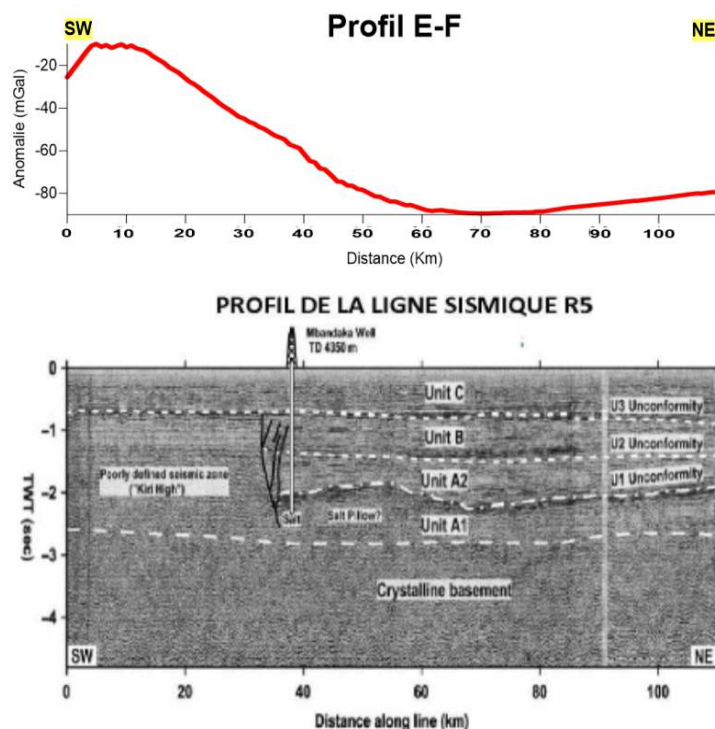


Fig. 17. Corrélation du profil E-F avec le profil sismique R5
(Source du profil sismique : (Kadima & al., 2011[7])

Le profil E-F met en évidence un contraste de densité énorme entre sa partie Ouest caractérisée par de hautes intensités d'anomalies (supérieure à -20 mGals) et sa partie Est dont les valeurs d'anomalies résiduelles chutent considérablement pour atteindre des valeurs inférieures à -85 mGals. L'hypothèse d'un important soulèvement du socle étant déjà exclue, en analysant le contexte géologique de la zone, la seule structure qui pourrait causer une augmentation des anomalies résiduelles comme celle-ci est probablement un dôme de sel muni d'un cap rock très dense et compact.

Rappelons que les interfaces géologiques, appelées aussi réflecteurs, repérées en sismique-réflexion sont les surfaces de séparation d'impédances acoustiques différentes. L'impédance acoustique d'une roche est égale au produit de sa masse volumique par la vitesse de propagation V_P pour les ondes P (ou ondes de compression) ou V_S pour les ondes S (ou ondes de cisaillement) (Lavergne M., 1986[13]). Il est à noter aussi que les vitesses des ondes V_P et V_S dépendent largement des paramètres physiques de la roche qu'elles traversent. Ces paramètres physiques sont : les constantes élastiques (module de rigidité ou de cisaillement μ , module d'incompressibilité K , etc.) et la densité.

L'absence notable des réflecteurs éminents dans cette zone à l'Ouest du profil sismique peut se traduire comme une certaine homogénéité des constantes élastiques et de la densité du matériau traversé par les ondes de volume à cet endroit du profil. Nous remarquons aussi sur ce profil que la séquence A1 (Unit A1) dans laquelle s'est terminé le forage de Mbandaka est occupée par une épaisse couche de sel. Nous voyons que le matériau homogène traversé par les ondes de volume à cet endroit est très probablement un gigantesque dôme de sel.

Cette hypothèse explique parfaitement les grandes valeurs d'anomalies résiduelles observées sur le profil gravimétrique E-F car l'existence très fréquente d'un "cap rock" très compact et relativement plus dense que le dôme de sel sur lequel il repose produit de très grandes valeurs d'anomalies.

5.4 LES CARTES ISSUES DU FILTRAGE DIRECTIONNEL

Comme nous l'avons évoqué ci-haut, nous avons procédé aux filtrages dans 4 directions (N-S ; E-W ; NE-SW ; NW-SE) dans le but de mettre en évidence un nombre maximum de failles probables dans notre zone d'étude (fig.18).

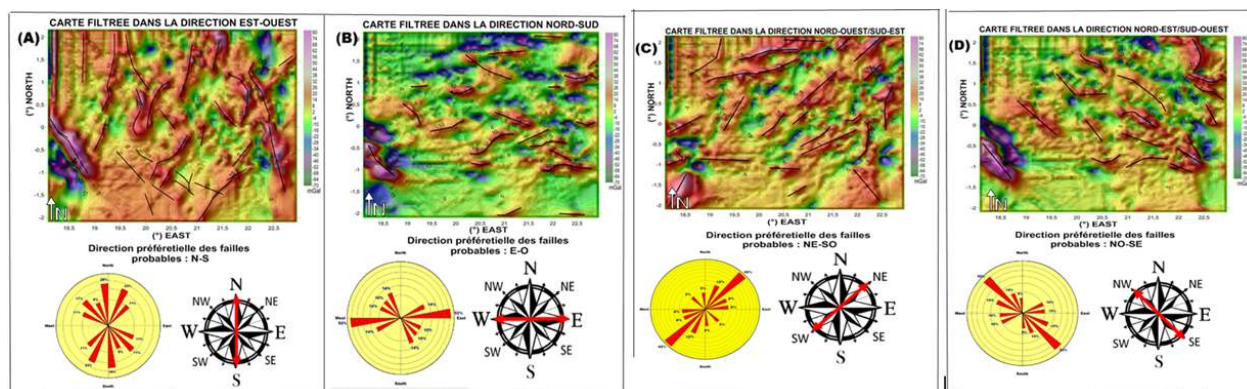


Fig. 18. Cartes issues du filtrage directionnel

Nous remarquons sur les quatre cartes présentées sur la figure ci-dessus que la majorité des failles mises en évidence sont perpendiculaires à la direction du filtre appliqué. La figure 19 (A) par exemple nous montre la carte filtrée dans la direction Est-Ouest. Sur cette carte, la direction préférentielle d'alignement des failles est : Nord-Sud. La flèche rouge de la rose de vent et le diagramme circulaire nous l'indique. Ainsi pour mieux faire l'étude structurale de notre zone d'étude, nous avons superposé toutes les failles probables rehaussées dans notre zone d'étude par filtrage directionnel (fig.19).

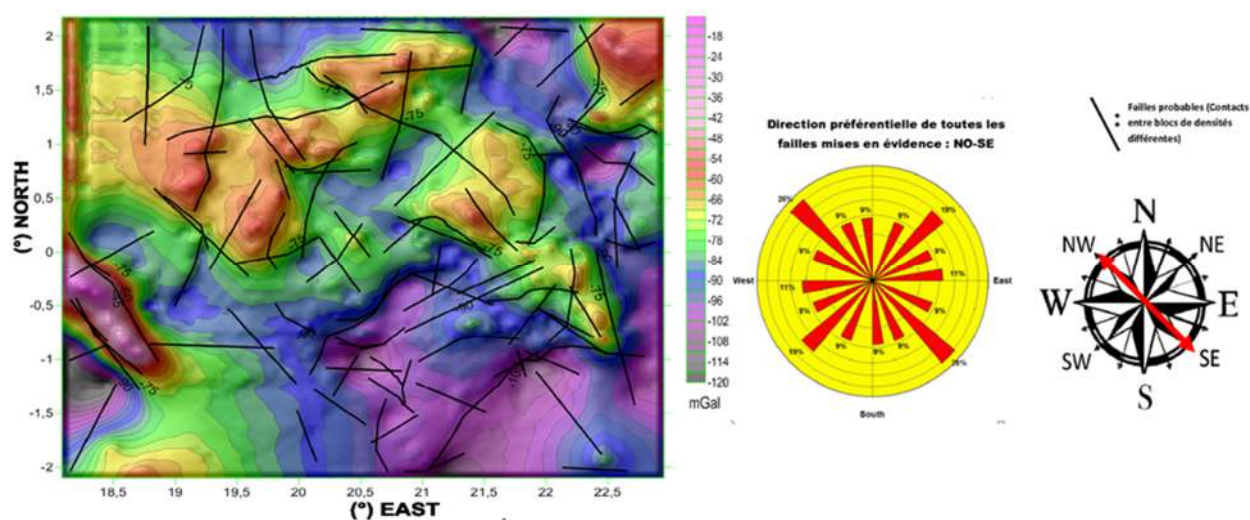


Fig. 19. Carte gravimétrique composite des failles probables dans le sous-bassin de Busira

6 CONTRIBUTION DE L'INTERPRETATION DES CARTES D'ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES A L'ETUDE STRUCTURALE DU SOUS-BASSIN DU BUSIRA

L'interprétation des différentes cartes d'anomalies gravimétriques nous a permis de mieux connaître la structure du sous-bassin du Busira. En effet, notre zone d'étude est incluse dans le bassin sédimentaire de la Cuvette Centrale. Ce dernier est une grande dépression intracratonique qui a un socle cristallin composé de roches magmatiques et métamorphiques précambriennes (archéennes à mésoprotérozoïques) (Kadima & al., 2015[7]). D'après Japan National Oil Corporation (1984)[4], la densité moyenne de ce socle cristallin serait de 2,73. Le champ de gravité mesuré par le satellite GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) dans la Cuvette Centrale montre d'importantes anomalies négatives en son centre, ce qui confirme la présence d'une zone profonde localisée au centre du bassin. Cette zone correspond à une grande dépression au niveau du socle cristallin et un épaissement corrélatif de la couverture sédimentaire de faible densité.

Ce fossé est localisé dans la partie Sud du sous-bassin du Busira car celui-ci est situé au Nord-Ouest de la Cuvette Centrale. Il s'agit d'une dépression profonde et de grande extension latérale caractérisée par d'importantes anomalies négatives variant entre -115 mGals et -96 mGals précisément dans les territoires de Boende, Bokungu et Monkoto et comblée par une épaisseur importante des sédiments. Cette gigantesque structure a été mise en évidence sur la carte d'anomalies de Bouguer (Signal total) ainsi que sur la carte d'anomalies régionales et sur le profil P-Q. Cette dépression représente donc une zone d'intérêt pétrolier majeur car, d'une manière générale, les bassins sédimentaires d'intérêt pétrolier majeur sont remplis par plusieurs kilomètres de sédiments. Ces grandes épaisseurs de sédiments appelées « dépôts centres » sont des lieux propices pour la génération des hydrocarbures car les conditions de maturation des roches mères sont proportionnelles à leur profondeur d'enfouissement. Signalons que plusieurs autres zones de faibles anomalies régionales sont également localisées comme des dépressions du socle de notre zone d'étude.

Nous constatons, en revanche, des zones relativement hautes autour de ces fossés. Ces zones de hautes intensités d'anomalies régionales apparaissent comme des horsts ou des uplifts du socle entourant ces grandes dépressions. Notons aussi que les inflexions des courbes des différents profils d'anomalies régionales ont révélé plusieurs signatures gravimétriques des failles au socle de notre zone d'analyse.

Plusieurs structures localisées au sein de la couverture sédimentaire ont été mises en évidence à l'aide de l'interprétation de la carte d'anomalies résiduelles. La corrélation gravimétrie-sismique ainsi que les informations stratigraphiques issues du puits Mbandaka ont été d'une importance capitale dans cette interprétation structurale. En effet, la stratigraphie du puits Mbandaka nous révèle que la strate la plus profonde pénétrée par ce puits est une couche salifère massive datant du Néoprotérozoïque (Kadima & al. 2011[7]). Dans notre analyse des profils gravimétriques et sismiques, nous constatons que cette couche se distingue de son environnement par ses propriétés physiques particulières, à savoir : sa faible densité par rapport aux roches sus-jacentes, sa plasticité exceptionnelle et sa grande mobilité.

La faible densité de cette couche par rapport aux roches sus-jacentes l'a rendue facilement détectable sur la carte d'anomalies résiduelles et sur le profil C-D car elle a induit de faibles intensités d'anomalies résiduelles. Sa plasticité exceptionnelle lui a conféré une mobilité hors du commun et cette dernière a provoqué, sous le poids des sédiments sus-jacents, des mouvements ascensionnels verticaux de cette couche et qui sont responsables d'une intense tectonique halocinétique. C'est cette tectonique qui a causé l'apparition de plusieurs structures plissées (plis diapirs, anticlinaux, flexures) et discontinues (failles) observables sur les profils gravimétriques (inflexions des courbes) et clairement sur les profils sismiques. Nous constatons donc que la tectonique salifère a joué un très grand rôle dans l'aspect structural de la couverture sédimentaire de notre zone d'étude.

Il est à noter aussi qu'en analysant les valeurs d'intensités d'anomalies, les faibles valeurs d'anomalies résiduelles suivent l'allure des fossés identifiés sur la carte d'anomalies régionales. Nous pouvons ainsi dire qu'il y a un épaississement de cette couche salifère dans les dépressions du socle de notre zone d'étude (fig.20).

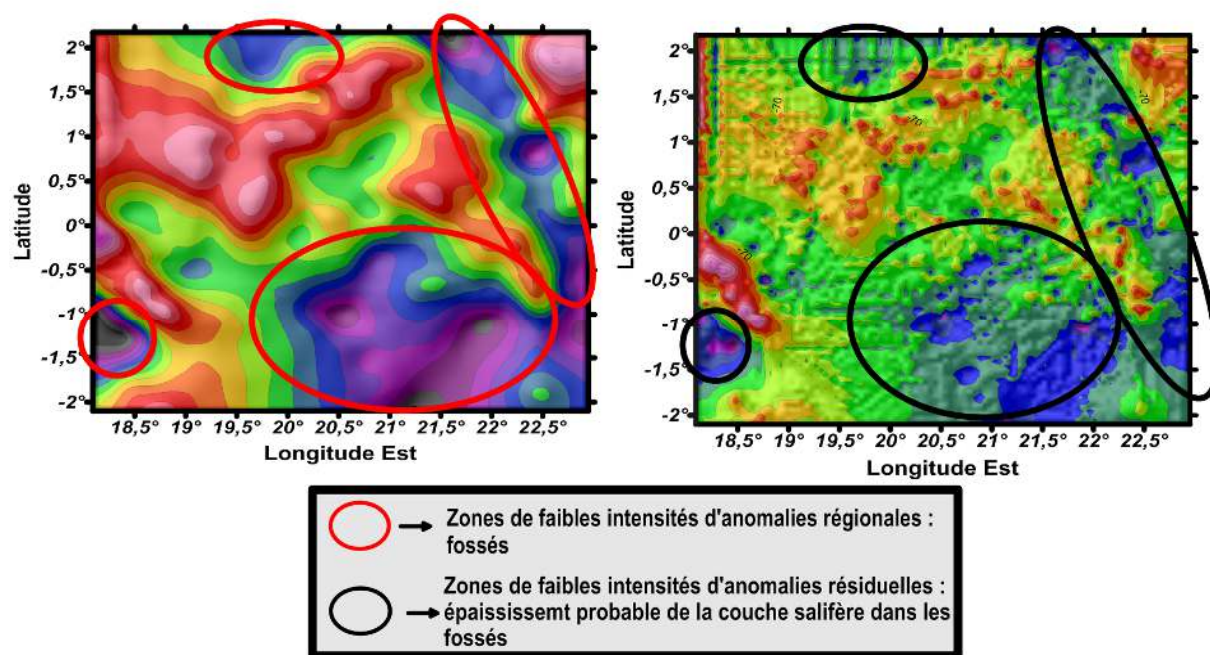


Fig. 20. *Epaississement de la couche salifère dans les dépressions.*

L'épaississement de cette couche salifère a aussi été mis en évidence par le profil de la ligne sismique R13 localisé au Sud de notre sous-bassin. Nous pouvons aussi signaler une importante continuité latérale de la couche salifère dans cette zone en voyant l'étalement des faibles anomalies résiduelles. En outre, signalons que l'analyse des structures géologiques générées par cette tectonique salifère montre qu'il y a une croissance d'Ouest en Est de l'intensité des déformations liées à cette tectonique. A l'Ouest, hormis le gigantesque dôme de sel du Kiri High et plusieurs failles en relation avec cette structure, nous remarquons que sur une grande surface la tectonique salifère a eu un faible impact sur les couches. Les déformations sont faibles et les couches sont presque planes et tabulaires dans cette zone. Cependant, à l'Est du sous-bassin, plus précisément dans le grand fossé, les mouvements verticaux du sel ont générés de grandes déformations. On y observe plusieurs dômes de sel, des failles et des plis anticlinaux.

Cette forte tectonique halocinétique dans le grand fossé peut être expliquée par l'épaississement de la couche salifère et le poids des sédiments sus-jacents à cette couche. En effet, dans notre zone d'étude la couche salifère se situe parmi les couches les plus profondes du remplissage sédimentaire car elle se trouve au sein de l'unité sismique A1 qui repose directement sur le socle cristallin (voir fig. 18 et 14). Dans le grand fossé, la série sédimentaire est très épaisse et l'action attractive de la pesanteur favorise ainsi l'enfoncement des roches sus-jacentes à cette couche salifère. Ce qui cause des remontées de la couche salifère perçant et déformant intensément les roches sus-jacentes. Notons aussi que les tectoniques de compression panafricaine et permo-triasique (Hercynien) ont largement favorisé les mouvements verticaux de cette couche salifère du Néoprotérozoïque.

Les cartes issues du filtrage directionnel ont mis en évidence plusieurs failles dans le sous-bassin du Busira, ce dernier s'inscrivant dans le cadre tectonique et structural du bassin sédimentaire de la Cuvette Centrale. En effet, la Cuvette Centrale a subi plusieurs des phénomènes tectoniques au cours de son évolution structurale. Les phénomènes de rifting panafricain (Néoprotérozoïque), les tectoniques de compression panafricaine et hercynienne (Permo-Triasique) ainsi que l'intense tectonique salifère qui a été mise en évidence dans cette étude ont largement contribué à la génération de plusieurs failles dans notre zone d'étude, ce qui explique la présence des multiples failles rehaussées par le filtrage directionnel des anomalies.

A l'issue de l'interprétation de nos cartes d'anomalies gravimétriques, nous avons établi une carte gravi-structurale qui est une carte composite représentant les anomalies gravimétriques ainsi que les éléments structuraux mis en évidence dans le sous-bassin du Busira (fig.21).

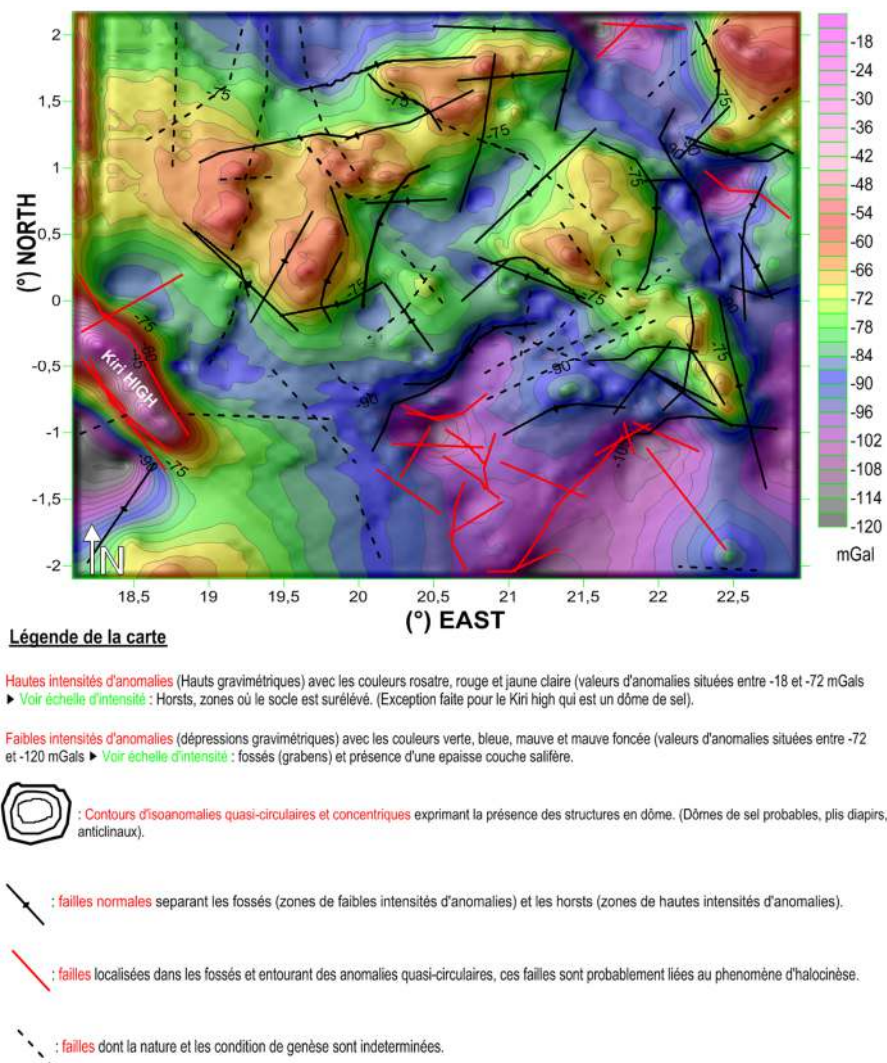


Fig. 21. Carte gravi-structurale du sous-bassin de Busira

Sur la carte ci-dessus, nous ressortons les observations suivantes :

- Les valeurs d'intensités d'anomalies gravimétriques nous montrent parfaitement la configuration structurale de notre sous-bassin. En effet, les hautes intensités d'anomalies traduisent les signatures gravimétriques des horsts qui sont des zones où la couverture sédimentaire est peu profonde tandis que les faibles valeurs d'intensités résultent des fossés qui sont des zones où la couverture sédimentaire atteint une épaisseur maximale. Notons aussi que la carte d'anomalies résiduelles nous a indiqué que les faibles valeurs d'intensités d'anomalies résultent d'un épaissement probable d'une couche salifère dans les fossés de notre zone d'analyse ;
- Les anomalies quasi-circulaires et concentriques nous révèlent les signatures gravimétriques des structures en forme de dôme (dômes de sel probables), des plis diapirs ou des anticlinaux. Ces structures d'intérêt pétrolier majeur résultent probablement des tectoniques de compression et/ou des phénomènes d'halocinèse ;
- Les failles normales (traits noirs) se localisent aux bordures des fossés (zones de faibles intensités d'anomalies gravimétriques) et les séparent des horsts (zones de hautes intensités d'anomalies gravimétriques). Ces failles résultent donc probablement d'une tectonique d'extension ;
- Les failles localisées au sein des fossés et entourant les anomalies quasi-circulaires (traits rouges) sont probablement liées au phénomène d'halocinèse. Les tectoniques de compression ont largement favorisé les mouvements verticaux du sel dans la Cuvette Centrale. Ces failles sont donc probablement de type inverse ;

- Les failles en traits noirs discontinus représentent celles dont la nature et les conditions de genèse n'ont pas été déterminé.

7 CONCLUSION

En guise de conclusion, nous disons que notre zone d'étude comporte des horsts caractérisés par de intensités élevées d'anomalies et des fossés qui sont des zones de basses intensités d'anomalies. Cette configuration structurale confère un très grand intérêt pétrolier aux zones de basses intensités d'anomalies (fossés) car ce sont des zones propices pour la maturation des roches mères. Cependant, les horsts ne doivent pas être négligés car s'ils se caractérisent par de hautes intensités d'anomalies de Bouguer et régionales, ces dernières restent toujours négatives. Ce qui signifie que l'épaisseur des sédiments est aussi considérable au-dessus de ces structures et que les roches mères peuvent donc aussi atteindre leur degré de maturation. L'analyse des anomalies résiduelles en corrélation avec les profils sismiques ainsi que l'application du filtrage directionnel des anomalies a permis de détecter plusieurs structures géologiques ayant un très grand intérêt pétrolier : les anticlinaux sont d'excellents pièges à pétrole, les failles peuvent aussi constituer des pièges (pièges par failles) mais elles peuvent aussi favoriser la migration ou la dysmigration des hydrocarbures et, les dômes de sel jouent un très grand rôle dans la genèse des structures géologiques pouvant piéger les hydrocarbures et constituent des roches couvertures par excellence.

En guise de perspective d'avenir, nous suggérons que :

- Une étude de magnétométrie soit réalisée avec les mêmes méthodes de traitements utilisées dans cette étude pour avoir plus de précision sur la structure du socle du sous-bassin du Busira ;
- Une sismique 2D soit réalisée sur base des informations issues de cette analyse pour améliorer les connaissances sur les structures géologiques situées dans la couverture sédimentaire. Cette méthode nous permettra certainement de détecter des structures d'intérêt pétrolier majeur dans le sous-bassin de Busira ;
- Une étude de contribution à la modélisation du (des) système(s) pétrolier(s) de ce sous-bassin soit réalisée pour sa mise en valeur.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Société Nationale des Hydrocarbures (SONAHYDROC) pour les données gravimétriques et la Faculté de Pétrole, Gaz et Energies Nouvelles de l'Université de Kinshasa pour avoir mis à notre disposition son laboratoire.

REFERENCES

- [1] COMIFAC (2005). Les forêts du bassin du Congo, évaluation préliminaire.
- [2] ENI, (Février 2011). Final Report. Cuvette Centrale: basin geological evolution and petroleum system analysis.
- [3] SACHSE VICTORIA F., DELVAUX D. et LITKE R. (2012) Petrological and geochemical investigations of potential source rocks of the central Congo Basin, Democratic Republic of Congo
- [4] JNOC, (1984-1986). Rapport des investigations géophysiques et géologiques dans la Cuvette Centrale de la République du Zaïre. Japan National Oil Corporation.
- [5] ECL, (1988) Rapport: Hydrocarbon potential of Cuvette Centrale (Republic of Zaire).
- [6] HRT, (2006) Petroleum Technical Report 05.CM0001. High Resolution Technology.
- [7] KADIMA KABONGO E., DELVAUX D. et al., (2015). Neoproterozoic to Lower Paleozoic Sequences of the Congo Shield: Comparisons Between the Congo and Its Peripheral Basins.
- [8] KADIMA KABONGO E., DELVAUX D. et al, (2011a). Structure and geological history of the Congo Basin: An integrated interpretation of gravity, magnetic and reflection seismic data.
- [9] DUBOIS J., DIAMENT M. et COGNE J-P., (2011). Géophysique (cours et exercices corrigés 4^e édition). Ed. DUNOD, Paris.
- [10] CHOUTEAU M., (2002). Géophysique appliquée I. (Gravimétrie). Ecole polytechnique de Montréal.
- [11] KEAREY P., BROOKS M. et HILL I. (2002). An Introduction to Geophysical Exploration, 3rd edition Blackwell Science.
- [12] N. EL GOUMI et al., (2010). Apport de la gravimétrie à l'étude de la structure du bassin du haouz (Maroc).
- [13] HENRY G., (1994). Géophysique des bassins sédimentaires. Ed. Technip, Paris.
- [14] LAVERGNE M., (1986). Méthodes sismiques. Ed. Technip, Paris.

Evaluation of the insecticidal effect of the extracts of six plants (*Maesa lanceolata*, *Solanum syzybrifolium*, *Annona squamosa*, *Cymbopogon citratus*, *Ocimum basilicum* and *Ocimum gratissimum*) contre les *Sitophilus*

Karl Tshimenga, Daudet Mbabu, Jean Kayolo, Alfred Mukuna, and Jean-Noël Mputu Kanyinda

Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département de Chimie et Industrie,
Unité de Biochimie-Chimie Alimentaire et Chimie Analytique, BP 190 Kin XI, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2018 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: With a view to developing a strategy for the integrated management of pests associated with cereals in stock in Kivu in the Democratic Republic of Congo, the insecticidal activity of the six plants (*M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa*, *C. citratus*, *O. Basilicum* and *O. Gratissimum*) on the survival of *sitophilus* weevils infesting maize and rice was studied under controlled conditions.

The extracts mainly the phenol-tannin mixture for the following plants: *C. Citratus*, *O. Basilicum* and *O. Gratissimum* and the flavonoid-terpene mixture for the following plants: *M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa* dissolved in 1% ethanol was applied at 0.2; 0.02 and 0.002 g.mL⁻¹. Compared to controls, our extracts significantly affect the survival of weevils, depending on the concentration and duration of exposure.

Corrected mortality ranged from 67% to 90% for extracts of *C. Citratus*, *O. Basilicum* and *O. Gratissimum*; 69% to 100% for extracts of *M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa*. Weevils respond to the toxic effects of the tested compounds, with the LD50 ranging from 0.10 to 0.44 and the LD90 from 0.22 to 0.95 g.mL⁻¹. It is the extracts of *M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa* which proved to be the most toxic compared to the other extracts.

KEYWORDS: Greenhouse tomato, *Capsicum frutescens*, alkaloids, saponins, flavonoids, *Bemisia tabaci*, biopesticides.

RÉSUMÉ: Dans la perspective d'élaborer une stratégie de gestion intégrée des ravageurs associés aux céréales en stock dans le Kivu en République Démocratique du Congo, l'activité insecticide des six plantes (*M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa*, *C. citratus*, *O. Basilicum* et *O. Gratissimum*) sur la survie des charançons *Sitophilus* infestant les maïs et les riz, a été étudiée en conditions contrôlées. Les extraits principalement le mélange phénol-tanin pour les plantes suivantes : *C. Citratus*, *O. Basilicum* et *O. Gratissimum* et le mélange flavonoïde-terpène pour les plantes suivantes : *M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa* dissous dans de l'éthanol à 1 % ont été appliqués à 0,2 ; 0,02 et 0,002 g.mL⁻¹. Par rapport aux témoins, nos extraits affectent significativement la survie des charançons, selon la concentration et la durée d'exposition. La mortalité corrigée s'échelonne de 67 % à 90 % pour les extraits de *C. Citratus*, *O. Basilicum* et *O. Gratissimum* ; 69% à 100% pour les extraits de *M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa*. Les charançons répondent aux effets toxiques des composés testés, avec la DL50 qui varie de 0,10 à 0,44 et la DL90 de 0,22 à 0,95 g.mL⁻¹. Ce sont les extraits de *M. Lanceolata*, *S. Syzybrifolium*, *A. Squamosa* qui se sont avérés les plus toxiques par rapport aux autres extraits.

MOTS-CLEFS: Tomate sous serre, *Capsicum frutescens*, alcaloïdes, saponines, flavonoïdes, *Bemisia tabaci*, biopesticides.

1 INTRODUCTION

Le maïs et le riz font partie des principales céréales cultivées et consommées en Afrique [1], mais ils sont souvent exposés aux insectes ravageurs (charançons *Sitophilus*) qui causent des pertes pendant le stockage. La RD Congo n'échappe pas à cette

réalité. Le charançon *Sitophilus ravageur* des maïs et riz stockés est devenu un véritable fléau préoccupant de plus en plus les agriculteurs en République Démocratique du Congo. En plus des dégâts directs causés, ils dégradent la valeur nutritionnelle et marchande des céréales en stocks. A l'instar de beaucoup de pays, la lutte contre les charançons consiste à l'utilisation des pesticides de synthèse qui du reste n'est pas sans conséquence pour l'homme et l'environnement [2-4].

Pour contrôler ces insectes ravageurs sans l'inconvénient des pesticides de synthèse, il est intéressant de se pencher sur d'autres méthodes, alternatives, en protection phytosanitaire. En effet, de nouveaux produits sont recherchés pour, d'une part, assurer une protection efficace de la production agricole, et d'autre part, contribuer à une gestion durable de l'environnement.

Dans cette optique, l'utilisation d'extraits de plantes dotées d'activités insecticides offre une certaine potentialité [5-6]. De nombreux travaux ont mis en évidence les effets négatifs des extraits de plantes sur des insectes ravageurs phytophages. Ainsi par exemple, des extraits de *Cymbopogon citratus*, *Ocimum basilicum*, *Ocimum gratissimum*, *Maesa lanceolata* ont présenté un effet insecticide sur plusieurs insectes [7-9].

De notre côté, et dans la perspective de rechercher d'autres produits alternatifs biodégradables et non nocifs à l'environnement, compatibles avec la gestion intégrée des ravageurs, nous avons mis en évidence l'effet des extraits de six plantes sur les charançons. Nous avons pour ce faire procédé à l'extraction composés présumés actifs de ces plantes à savoir le phénol, tanin, flavonoïde et terpène. Et tester leur efficacité vis-à-vis des *Sitophilus*.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Nous avons utilisé d'une part la variété locale de riz et de maïs pour l'élevage de nos insectes et d'autre part, les feuilles de plantes insecticides. Ces feuilles ont été récoltées dans la province du Sud Kivu dans la plaine de la Ruzizi à l'est de la République Démocratique du Congo au cours du mois de mai 2016. Les feuilles ont été coupées, pesées et étalées en fines couches sur le sol pour le séchage à température ambiante pendant une semaine. Elles sont ensuite broyées en poudre au moyen d'un broyeur électrique. La poudre obtenue est pesée pour déterminer les doses croissantes d'insecticide à préparer.

2.2 LES INSECTS

Il est composé d'insectes nuisibles de *Sitophilus*. L'élevage est réalisé dans des boîtes en plastique dans lesquels ont été ajoutés un nombre suffisant d'insectes de sexe indéterminé. Ces boîtes en plastique sont maintenues à la température ambiante du laboratoire à environ $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Les grains infestés sont laissés en incubation jusqu'à l'apparition des nouveaux insectes adultes. Les insectes adultes utilisés pour les tests sont obtenus à partir de ces élevages de masse.

2.3 EXTRACTION DES COMPOSÉS CHIMIQUES DES EXTRAITS DES PLANTES

Les extractions sont faites après une macération de 24 heures puis filtrées. Le filtrat et les résidus sont conservés dans des bocaux en verre. Le filtrat est servi dans l'identification des familles de substances chimiques.

2.4 SCREENING PHOTOCHIMIQUES DES EXTRAITS DES PLANTES

Les résidus ainsi obtenus lors de la préparation des extraits ont servi à l'identification des familles des substances chimiques contenues dans les plantes comme les alcaloïdes, saponines, flavonoïdes, terpènes, stéroïdes, glucosides, caroténoïdes, phénols, quinones, tanins et les lipoïdes selon les méthodes classiques [12].

Les **alcaloïdes** ont été identifiés en se basant sur leur solubilité dans l'eau. Ainsi leur détection a été faite respectivement par les tests aux réactifs de Mayer (HgCl_2 , KI et H_2O), de Dragendorff [$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, KI et H_2O], et de Wagner (KI, I_2 et H_2O) sur les extraits aqueux. L'apparition d'un précipité rouge-orange (pour les réactifs de Mayer et Dragendorff) et brun, rouge ou noir pour le réactif de Wagner témoigne la présence des alcaloïdes [12].

Quant aux **saponines**, les tests au dichromate de potassium (1%) acidifié par l'acide sulfurique (98%) et à la mousse réalisés sur l'extrait aqueux ont été utilisés pour les identifier. D'un côté, l'apparition de la coloration vert-pâle pour le premier test et de la mousse persistante suite à une agitation vigoureuse pour le second test témoigne de la présence des saponines [12].

Les **glucosides** ont été identifiés à partir des extraits aqueux par le test au réactif de Fehling ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + tartrate double de potassium et de sodium + H_2O) acidifié par HCl à 1%. La formation d'un précipité rouge-brique témoigne la présence des glucosides [12].

Les **flavonoïdes** quant à eux ont été détectés par le test à la soude caustique (1%) et à l'acide chlorhydrique (1%) réalisés sur l'extrait aqueux. La formation de coloration bleu-verdâtre indique la présence des flavonoïdes [13].

L'identification des **terpènes** a été faite sur base du test au réactif de Hurschson (acide acétique) effectué sur l'extrait organique étheré. La présence de la couleur jaune virant au rouge indique la présence des terpènes [13].

Les **stéroïdes** ont été également identifiés par le test au réactif de Lieberman-Burchard (acide acétique+acide sulfurique) réalisé sur l'extrait aqueux. L'apparition de la coloration mauve et vert témoigne la présence des stéroïdes [12].

Les **tanins** ont été recherchés au moyen du test au réactif de Stiasny (chlorure ferrique à 1%) réalisé sur l'extrait aqueux. La formation de coloration bleue, bleue-verte, bleue- sombre ou verte, témoigne la présence des tanins [13, 14].

Les **quinones** ont été identifiées par le test à l'ammoniaque (1%) réalisé sur l'extrait organique benzénique. L'apparition de la coloration rouge-rosâtre indique la présence des quinones [14].

Les **phénols** ont été détectés par le test à FeCl_3 (1%) et à l'acide sulfurique (98%) mené sur l'extrait organique éthanolique. La formation de la couleur rouge- foncée, indique la présence des phénols [12].

Les **caroténoïdes** ont été recherchés sur l'extrait organique étheré par le test à l'acide chlorhydrique à (1%) et à l'acide sulfurique (98%). L'apparition de la couleur vert-bleue, indique la présence des caroténoïdes [12, 13].

Pour les **Coumarines**, à 5 ml d'extraits on ajoute 2 ml d'eau chaude puis on repartit la solution dans deux tubes à essai. Dans lesquels nous avons ajouté 0,5 ml de NH_4OH à 25%. Sous la lumière UV (366 nm), une fluorescence intense indiquait la présence de coumarines [12].

Enfin les **anthocyanes** sont déterminés. Cinq ml de H_2SO_4 à 10% ont été ajoutés à 5 ml d'extrait à 5%, puis cinq gouttes de NH_4OH à 25% sont ajoutées. Si la coloration est accentuée par l'acidification et devient bleu-violacé en milieu basique, les anthocyanes sont présentes [12,14].

2.5 EXTRACTION DE SOLUTIONS ORGANIQUES INSECTICIDES

Les résidus obtenus lors de la préparation d'extraits aussi organiques qu'aqueux ont servi à l'extraction de substances organiques insecticides telles que les tanins, les phénols, les flavonoïdes et les terpènes, selon les méthodes classiques [15-17].

Après filtration des extraits organiques et évaporation sous vide de la phase liquide, on récupère le résidu noir obtenu avec un mélange de chlorobenzène-eau (2/1). Il apparaît une phase qui ensuite a été séparée par décantation puis évaporée à sec. Le résidu obtenu a été récupéré dans 2 ml d'eau distillée pour le test d'activité insecticide.

Ce résidu obtenu sera de nouveau dissous dans le mélange méthanol-eau (4/1). Trois doses d'extraits de plantes ont été préparées respectivement 0,2 g/mL; 0,02 g/ml et 0,002 g/ml. En tant que témoin, nous avons utilisé le Malathion dans la même dose. Un ml de chaque solution à dose donnée a été déposé sur un quart de papier-filtre au moyen d'une micropipette. Après évaporation du solvant à l'extérieur, le papier filtre a été introduit dans la boîte d'expérimentation [12].

Cinq grammes de haricots sont introduits dans chaque boîte. Ces graines ont été utilisées comme substrat pour les insectes. Ainsi, 20 individus de *Sitophilus*, ont été placés dans chaque bouteille contenant des substances actives. Les boîtes sont fermées au moyen d'une mousseline pour finalement éviter la fuite ou la mort des insectes par asphyxie. Les boîtes étaient conservées dans un endroit bien aéré. Le temps d'exposition a été fixé à 24, 48 et 72 heures. Lors du comptage, les insectes incapables de se déplacer après la durée du test (24, 48 heures et 72 heures) ont été considérés comme morts.

2.6 EXPRESSION DES RÉSULTATS

L'efficacité d'un produit est évaluée par le taux de mortalité. Le nombre d'individus morts dans une population traitée avec un agent toxique n'est pas le nombre réel d'individus tués par ce toxique. En effet, dans toute la population traitée, il existe une mortalité naturelle qui s'ajoute à la mortalité provoquée par ce toxique, le taux de mortalité devrait être corrigé par la formule d'Abbott [18]: $MC = \frac{M-Mt}{100-Mt} \times 100$

MC: mortalité corrigée, M: % de mort dans la population traitée, Mt: pourcentage de décès dans la population témoin.

2.7 ANALYSE STATISTIQUE

Le logiciel R a été utilisé pour les analyses de la variance.

3 RÉSULTAT ET DISCUSSION

3.1 A. SCREENING PHYTOCHIMIQUE DES EXTRAITS DE PLANTES

Les différents principes actifs identifiés dans les extraits de différentes plantes sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Screening phytochimique des extraits des plantes traitées

Composés chimique	Résultats					
	<i>C. Citratus</i>	<i>O. Basilicum</i>	<i>O. Gratissimum</i>	<i>M.lanceolata</i>	<i>A.squamosa</i>	<i>S.syzymbriifolium</i>
Alcaloïdes	+++	+++	+++	+++	++	++
Saponines	++	++	+	+++	++	++
Phénols	+++	+++	+++	+	+++	+++
Quinones	+++	-	+	+++	+	+
Tannins	+++	+++	+++	++	++	++
Terpènes	+++	+++	+	+++	+++	+
Glycosides	+	-	++	++	++	++
Stéroïdes	++	+++	++	-	-	-
Flavonoïdes	+++	++	-	+++	+++	+++
Caroténoïdes	++	+	+++	+++	+++	+++
Anthocyanes	-	++	+	++	++	++
Coumarines	++	+	++	-	+++	++

Hautelement présent: +++; présent: ++; faiblement présent: +; absent: -

Le tableau 1 présente le résultat du screening chimique de nos six plantes insecticides. Nous notons que les alcaloïdes sont fortement présents dans le *Citratus*, *Basilicum*, *Gratissimum* et *Lanceolata* ; moyennement présent dans *Squamosa* et *Syzymbriifolium*. Les saponines sont fortement présentes chez *Lanceolata*, moyennement présent chez *Citratus*, *Basilicum* et *Squamosa* tandis que chez *Lanceolata* ils sont faiblement présents. Les phénols sont fortement présents dans toutes cinq de nos six plantes à l'exception du *Lanceolata* ou ils sont faiblement présents. Les quinones sont fortement présentes dans le *Citratus* et *Lanceolata*, faiblement présent dans les *Gratissimum*, *Squamosa* et *Syzymbriifolium* tandis que dans le *Basilicum* ils sont absents. Les tannoïdes sont fortement présents dans le *Citratus*, *Basilicum* et *Gratissimum*, il est moyennement présent dans le *Lanceolata*, *Squamosa* et *Syzymbriifolium*. Les terpènes sont présents dans quatre de nos six plantes à l'exception *Gratissimum* et *Syzymbriifolium* ou ils sont faiblement présents. Les glycosides on les trouvent moyennement dans le *Gratissimum*, *Lanceolata*, *Squamoza* et *Syzymbriifolium*, ils sont faiblement présents dans le *Citratus* et absent dans le *Basilicum*.

Les stéroïdes sont fortement présents dans le *Basilicum*, moyennement présents dans le *Citratus* et *Gratissimum*, ils sont absents dans le *Lanceolata*, *Gratissimum* et *Syzymbrofilium*. Les flavonoïdes sont fortement présents dans quatre de nos six plantes insecticides à l'exception de *Gratissimum* ou ils sont absents et du *Basilicum* ou ils sont faiblement présents. Les caroténoïdes sont présents dans quatre de nos six plantes exceptées dans le *Basilicum* ou ils sont faiblement présents et dans le *Citratus* ou ils sont moyennement présents. Les anthocyanes sont absentes dans le *Citratus*, faiblement présents dans le *Gratissimum* et moyennement présent dans les quatre autres plantes. Quant aux coumarines, ils sont absents dans le *Lanceolata*, faiblement présent dans le *Basilicum*, moyennement présents dans le *Citratus*, *Gratissimum* et *Syzymbrofilium*, fortement présents le *Squamoza*.

Signalons que ce test a été réalisé afin de vérifier si les plantes insecticides dont *Maesa lanceolata*, *Annona squamosa* et *Solanum syzymbriifolium* dont certaines sont cultivées (*Annona squamosa* et *Maesa lanceolata*) dans la région de Kabare Nord et Walungu (Kamisimbi), et le *Solanum syzymbriifolium* qui pousse à l'état sauvage possède les substances actives semblables à celles observées dans d'autres plantes de *Maesa lanceolata*, *Annona squamosa* et *Solanum syzymbriifolium*, cultivées dans d'autres régions différentes de celle de Sud Kivu car selon la présence des composés phytochimiques dans les feuilles de

diverses espèces de plantes, peut être affectée par le génotype, les conditions du développement et de croissance, la maturité, le conditionnement, les conditions de stockage, etc.

Les résultats de ce screening chimique nous ont permis de préparer les différentes doses insecticides. C'est comme ça que nous avons utilisé les phénols et les tanins pour les *Citratus*, *Basilicum* et *Gratissimum* ; tandis que pour les *Lanceolata*, *Squamoza* et les *Syzymbrifolium* nous avons utilisé les flavonoïdes et les terpènes.

Tableau 2: Taux de mortalité corrigé durant 24, 48 and 72 h d'exposition d'insectes

Dose (g/mL)	Temps (h)	<i>C. Citratus</i>	<i>O. Basilicum</i>	<i>O. Gratissimum</i>	<i>A. Squamosa</i>	<i>M. Lonceolata</i>	<i>S. Syzymbriofolium</i>	Malathion
		MC (%)	MC (%)	MC (%)	MC (%)	MC (%)	MC (%)	MC (%)
0,2	24	70,1±3,3	79,4±1,1	67,2±0,9	96,4±3,4	69,7±3,5	92,2±4,9	80,7±1,2
	48	85,8±1,6	90,4±3,4	85,5±2,1	100±0,0	93,4±2,4	100±0,0	93,7±2,5
	72	96,2±3,3	90,6±3,2	93,4±6,7	100,0±0,0	95,6±1,2	100,0±0,0	99,3±3,2
0,02	24	36,5±3,4	26,2±6,7	29,7±3,4	59,85±2,1	50,0±3,3	53,3±1,4	39,0±1,0
	48	56,4±3,4	46,7±0,2	50,0±3,6	71,4±3,3	76,7±0,2	67,8±0,2	60,0±1,0
	72	63,7±3,3	53,7±6,7	56,8±3,6	86,4±3,4	76,4±3,1	89,7±3,7	80,3±3,1
0,002	24	16,4±3,4	6,7±0,0	10,0±2,7	44,4±1,4	33,2±1,0	46,0±1,7	40,3±3,4
	48	33,5±3,9	27,4±1,4	29,6±3,4	63,5±1,9	57,4±1,1	67,3±2,4	60,0±0,0
	72	66,5±2,2	57,0±3,3	63,6±5,6	70,1±2,2	66,0±3,3	74,6±2,1	60,3±1,2

Au regard de ce tableau, nous observons que la mortalité de charançons est fonction de la dose du produit utilisé et du temps de contact.

Cymbopogon Citratus

Pour la dose 0,002 g/mL, nous avons une faible mortalité de charançons après 24 heures d'exposition 16,4% ; cette mortalité passe à 33,5% après 48 heures pour atteindre 66,5% après 72 heures. Pour la dose de 0,02 g/mL nous avons une mortalité plus prononcée que pour la dose précédente avec 36,5% de mortalité après 24h, puis 56,4% après 48 heures pour afin atteindre 63,7% après 72 heures d'exposition. Pour la dose 0,2 g/mL, nous avons une forte mortalité avec des valeurs de 70,1% après 24 h, puis 85,8% après 48 h et 96,2% après 72 h.

Pour l'Ocimum Basilicum

La dose 0,002 g/mL ne donne qu'une faible mortalité de charançons après 24 heures d'exposition 6,7% ; cette mortalité passe ensuite à 27,4% après 48 heures pour atteindre 57% après 72 heures. La dose de 0,02 g/mL donne une mortalité plus prononcée que pour la dose 0,002g/mL avec 26,2% de mortalité après 24h, puis 46,7% après 48 heures pour afin atteindre 53,7% après 72 heures d'exposition. Pour la dose 0,2 g/mL, nous avons une forte mortalité avec des valeurs de 79,4% après 24 h et 90% après 48 et 72 h.

Ocimum Gratissimum

La dose 0,002 g/mL donne une mortalité de 10% après 24 heures, elle passe ensuite à 29,6% après 48 heures pour atteindre 63,6% après 72 heures. La dose 0,02 g/mL donne une mortalité de 29,7% après 24h, 50 et 56% après 48 et 72 heures respectivement. Quant à la dose 0,2 g/mL, nous avons une mortalité de 67, 86 et 93% pour 24, 48 et 72 h.

Maesa Lanceolata

La dose 0,002 g/mL donne une mortalité de 33, 57 et 66 % après 24, 48 et 72 heures d'exposition respectivement. Quant à la dose 0,02 g/mL nous avons une mortalité de 50% après 24h pour atteindre 76% après 48 et 72 heures. La dose 0,2 g/mL par contre montre une mortalité de 69, 93 et 95% pour 24, 48 et 72 h.

Solanum Syzymbriofolium

La dose 0,002 g/mL donne une mortalité de 46, 67 et 74 % après 24, 48 et 72 heures d'exposition respectivement. La dose 0,02 g/mL quant à elle donne une mortalité de 53, 67 et 89 % pour 24, 48 et 72 h respectivement. La dose 0,2 g/mL par contre montre une mortalité qui passe de 92% après 24h à 100% après 48 et 72h.

Annona Squamosa

La dose 0,002 g/mL donne une mortalité de 46, 63 et 70 % après 24, 48 et 72 heures d'exposition respectivement. La dose 0,02 g/mL quant à elle donne une mortalité de 59, 71 et 86 % pour 24, 48 et 72 h respectivement. La dose 0,2 g/mL par contre montre une mortalité qui passe de 96% après 24h à 100% après 48 et 72h.

Comparativement au Malathion qui est un insecticide de synthèse, nous pouvons dire que nos extraits ont été efficaces. Le *Syzybrifolium* et l'*Annona Squalosa* ont présenté une mortalité supérieure à celle du Malathion après seulement 24 h d'exposition tandis que le *Lanceolata* a montré un taux de mortalité identique au Malathion après 48h.

DÉTERMINATION DES DOSES LÉTALES

La **dose létale** (DL) représente la dose à laquelle un pourcentage donné d'une population donnée meurt.

Le tableau 2 donne les résultats des doses létales 50 (DL50) et 90 (DL90) de nos extraits sur les charançons.

Tableau 2. Résultats de la DL50 et DL90 de nos extraits

Plantes	Dose létales DL ₅₀ (g/mL)	Dose létales DL ₉₀ (g/mL)
<i>Cymbopogon Citratus</i>	0,44	0,95
<i>Ocimum Basilicum</i>	0,31	0,80
<i>Ocimum Gratissimum</i>	0,30	0,65
<i>Annona Squalosa</i>	0,11	0,50
<i>Maesa Lanceolata</i>	0,17	0,75
<i>Solanum Syzybrifolium</i>	0,10	0,22

Au vu des résultats présentés dans le tableau 3, il s'avère que les doses létales varient d'une plante insecticide à l'autre et pour la plupart des plantes, c'est la dose 0,2 g/mL qui a entraîné une mortalité élevée. L'examen des DL50 et DL90 de nos extraits sur les charançons donne le classement suivant par ordre de grandeur décroissant : *Solanum Syzybrifolium*, *Annona Squalosa*, *Maesa Lanceolata*, *Ocimum Gratissimum*, *Ocimum Basilicum* et *Cymbopogon Citratus*. En comparaison de la toxicité de nos extraits sur les insectes nous permet de déduire que *Solanum Syzybrifolium*, *Annona Squalosa*, *Maesa Lanceolata* ont des toxicités plus importantes sur *Sitophilus Oryzae*.

4 CONCLUSION

Notre travail a pour objectif d'évaluer la toxicité des extraits *Solanum Syzybrifolium*, *Annona Squalosa*, *Maesa Lanceolata*, *Ocimum Gratissimum*, *Ocimum Basilicum* et *Cymbopogon Citratus* sur *Sitophilus Oryzae* insecte ravageur de stocks de riz et maïs au Sud-Kivu en République Démocratique du Congo. Parmi les six extraits testés, *Syzybrifolium*, *Annona Squalosa* et *Maesa Lanceolata* montrent la plus grande efficacité, la mortalité est de plus de 90% après 24 h et de 100% après seulement 48h. Suivi de *C. Citratus* et *M. Lanceolata*. Nos extraits n'ont pas seulement un effet insecticide sur les charançons, mais aussi un effet ovicide car nous n'avons pas remarqué la prolifération des larves. Ce travail basé sur l'utilisation des certaines plantes comme insecticide nous ouvre de larges perspectives d'une part dans le domaine des connaissances fondamentales et d'autre part dans le domaine appliqué. Car il permet l'utilisation de ces extraits en lieu et place des insecticides de synthèse qui sont nocifs pour les animaux, les humains et l'environnement.

REFERENCES

- [1] Breniere K., 2006, La lutte chimique contre les insectes du riz en Afrique, sa validité et ses Limites. Agronomie tropicale, 41,1, 75-83 ;
- [2] Foua-Bi, Gakuru K. 2003. Produits naturels utilisés dans la préservation des stocks en Afrique noir, 84p
- [3] Hall, D.W. 2007, Handling and Storage of Food Grains, in Tropical and Subtropical Areas, FAO. Rome, 350 p.
- [4] A. Bouchelta, A. Boughdad , A. Blenzar, "Effets biocides des alcaloïdes, des saponines et des flavonoïdes extraits de *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) sur *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hom ; Aleyrodidae) ». *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* , 9 ,pp.259-69, 2005.

- [5] Larew HG., Locke JC. (1990). Repellency and toxicity of horticultural oil against whitefly on *Chrysanthemum*. *HortScience* 25 (11), p. 1406–1407.
- [6] Gomez P., Cubillo D., Mora GA., Hilje L. (1997). Evaluacion de posibles repelentes de *Bemisia tabaci*. II. Extractos vegetales. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 29, p. 17–25.
- [7] Sofowora A., 2006, Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique, éd. Karthala, Paris ;
- [8] Koba, K, Poutouli, P.W., Raynaud, 2009, «Composition chimique et propriétés antimicrobiennes de différentes huiles essentielles de basilic chémotypes du Togo». *Bangladesh J Pharmacol.* 4: 1-8 ;
- [9] Vaughan, D.A., Morishima, H. et Kadowaki, K., 2003, « La diversité dans le genre *Oryza* Current Opinion. ». *Biologie végétale.* 6 : 139-146 ;
- [10] Arnason, Durst T., Philogène B. J. R., Scott L M., Prospecting of phytochemical insecticides of common and rare temperate and tropical plants. 88-99. In Regnault-Roger C., Philogène B J R et Vincent C., (éds). *Biopesticides of plant origin* 2nd Edition. Lavoisier, Paris, TEC & DOC, pp.550, 2008.
- [11] Chiasson, Delisle U., Bostanian N J., Vincent C., Research, development and commercialization of FACIN, a biopesticide of vegetable origin. Study of a success story in North America, p. 451-463. In Regnault-Roger C., Philogène B J R., Vincent C. (éds). *Biopesticides of plant origin* 2nd Edition. Lavoisier, Paris, TEC & DOC, pp.450, 2008 .
- [12] Nsambu M., Muhigwa B., Rubabura K., bagalwa M. and Bashwira S. 2014. In vitro evaluation of the insecticide activity of alkaloids, saponines, terpenoids and steroids extracts of *Capsicum frutescens* L. (solanaceae) against *Antestiopsis Orbitalis* Ghesquierei, insects pests of coffee mills. *International Journal of Innovation and Applied Studies.* 11, 1231-1243.
- [13] Bouchelta A., Boughdad A. and Blenzar A. 2005. Biocidal effects of alkaloids, saponins and flavonoids extracted from *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) on *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 9, 259–269
- [14] Riad S.R. El-Mohamedy and Aboelfetoh M. A. 2014. Evaluation of antifungal activity of *Moringa oleifera* extracts as natural fungicide against some plant pathogenic fungi In-vitro. *Journal of Agricultural Technology.* 10: 963-982.
- [15] Sofowora A., *Medicinal plants and traditional medicine in Africa*, Ed. Karthala, Paris, pp.321, 1996.
- [16] Perrot E M., *Common raw materials of the vegetable kingdom*, Tome 1 et 2. Masson et Cie éditeur, Paris, pp.343, 1944.
- [17] Pirie N W., *General methods of separation, making and handing extracts in modern methods of plant analysis.* Springer-Verlag, RFA, pp.26-54, 1956.
- [18] Abbott W. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18, p. 265–267.

L'impact du Greenwashing sur la satisfaction verte des clients, la qualité perçue verte des produits ainsi que le bouche à oreille vert

[Impact of Greenwashing on Green Customer Satisfaction, Green perceived Quality of Product and Green word of mouth]

Badr Kharifi¹, Kaoutar Berrada¹, and Fatiha Adyoubah²

¹Department Economie et Gestion,
Université Moulay Ismail, Groupe de Recherche en Economie et Gestion,
Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales, Meknès, Maroc

²Department Economie et Gestion,
Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales, Meknès, Maroc

Copyright © 2018 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, going green is an expression we see more and more in every business environment. Green marketing is practiced by companies to show their ecological efforts related to their products or services and their effects on the environment. Whenever this demonstration is misleading, it may be subtle in form but highly detrimental in its consequences. This is called "Greenwashing", meaning companies try to paint their image in green.

Our article explores the impact of the Greenwashing concept on green customer satisfaction, perceived green product quality and green word of mouth. It is a quantitative and exploratory-descriptive study that deals with a recent and little exploited subject. The purpose of this article is to examine the effect of greenwashing on the perceived green quality of products, green customer satisfaction and green word of mouth, more precisely to see what is there. negative or positive impact between these four variables. The focus of this article is on Moroccan consumers - students - who have the experience of buying a Moroccan product that claims to be 100% organic. We will therefore try to verify the application of the model of YS Chen, CL Lin and CH Chang in a Moroccan context and to see the link between greenwashing and the perceived green quality of the products, the green satisfaction of customers and word of mouth green.

KEYWORDS: Greenwashing, green satisfaction, perceived green quality, green word of mouth, exploratory study, Moroccan context.

RESUME: Aujourd'hui, se mettre au vert est une expression que nous voyons de plus en plus dans chaque environnement d'entreprise. Le marketing vert est pratiqué par les entreprises afin de montrer leurs efforts écologiques liés à leurs produits ou services ainsi que leurs effets sur l'environnement. A chaque fois que cette démonstration est trompeuse, elle peut être subtile dans la forme mais fortement nuisible dans ses conséquences. C'est ce qu'on appelle donc le « Greenwashing », autrement dit les entreprises essayent de peindre leur image en vert.

Notre article explore l'impact du concept du Greenwashing sur la satisfaction verte des clients, la qualité perçue verte des produits ainsi que le bouche à oreille vert. Il s'agit d'une étude quantitative et exploratoire-descriptive qui traite un sujet récent et peu exploité. L'objectif de cet article c'est d'examiner l'effet entre le greenwashing et la qualité perçue verte des produits, la satisfaction verte des clients et le bouche à oreille vert, plus précisément de voir est ce qu'il y a un impact négatif ou positif entre ces quatre variables. L'objet de recherche de cet article se concentre sur les consommateurs marocains - les étudiants - qui ont l'expérience d'achat d'un produit marocain qui prétend être 100% bio. On essaiera donc de vérifier l'application du

modèle de Y-S Chen, C-L Lin et C-H Chang dans un contexte marocain et de voir le lien existant entre le greenwashing et la qualité perçue verte des produits, la satisfaction verte des clients et le bouche à oreille vert.

MOTS-CLEFS: Greenwashing, satisfaction verte, qualité perçue verte, bouche à oreille verte, étude exploratoire, contexte marocain.

1 INTRODUCTION

Récemment, les questions environnementales sont devenues un sujet de plus en plus populaire et passionnément discuté dans la littérature académique. Les consommateurs et les entreprises ont orientés leur attention vers des produits respectueux de l'environnement appelés produits « verts », ils (en particulier les consommateurs) sont devenus de plus en plus conscients des problèmes environnementaux. Ce problème croissant a obligé les entreprises à réagir en développant une approche écologique pratique qui affecte non seulement le processus de production, mais aussi les résultats du produit.

Le phénomène « vert » des années 90 réapparaît aujourd'hui, alors que plusieurs fabricants réévaluent leurs produits comme étant vert pour attirer un segment croissant de l'environnement. Le Marketing vert est un concept holistique où la production, la commercialisation et la consommation des produits et services se font de manière moins préjudiciable à l'environnement. En attirant un public vert, les entreprises utilisent souvent des revendications qui sont respectueuses de l'environnement, mais en réalité vagues, et peuvent parfois être fausses.

Plusieurs magasins préférés chez les clients sont remplis de produits prétendant être bons pour l'environnement, presque chaque produit prétend être « naturel », « durable », « recyclable », « biodégradable », etc. Il semble que les entreprises partout aujourd'hui utilisent le mot « bio » et l'affichent sur leurs emballages, les sites Web et publicités.

Les consommateurs peuvent se méfier et être sensibles aux allégations des produits verts, parce que les connaissances scientifiques nécessaires pour comprendre les nombreux problèmes environnementaux sont souvent complexes ce qui les rend difficilement compréhensible pour le public. De plus, les comparaisons entre produits sont souvent limitées à un seul avantage environnemental, rendant la promesse incomplète et trompeuse. Cette pratique de donner une image éco responsable à de nombreux produits qui est assez éloignée de la réalité s'appelle le « Greenwashing ».

Les entreprises utilisent généralement le Greenwashing pour révéler sélectivement les informations positives sur les caractéristiques environnementales de leurs produits sans faire connaître les informations négatives, pour faire croire aux consommateurs qu'elles sont respectueuses de l'environnement afin d'améliorer leurs images vertes et d'augmenter le bouche à oreille vert. Par conséquent, les consommateurs sont de plus en plus méfiants à l'égard du greenwashing opportuniste des entreprises.

Afin d'améliorer la qualité perçue par les consommateurs, la satisfaction et le bouche à oreille positif, les entreprises devraient réduire leurs comportements de greenwashing et permettre aux consommateurs d'obtenir suffisamment d'informations fiables sur leurs produits. Sans offrir de messages fiables aux clients, il est difficile pour les entreprises de persuader leurs consommateurs de croire à leurs revendications vertes.

Cet Article propose une construction de greenwashing, de qualité perçue verte, de satisfaction verte et du bouche à oreille vert pour aider les entreprises à améliorer le bouche à oreille vert de leurs clients à partir des trois facteurs : Greenwashing, qualité perçue verte et satisfaction verte.

Enfin, notre préoccupation majeure en rédigeant ce travail est de répondre à la problématique suivante : « Dans quelle mesure le greenwashing influence-t-il la qualité perçue, la satisfaction et le bouche à oreille verts ? De même, dans quelle mesure la qualité perçue et la satisfaction vertes influencent-elles le bouche à oreille vert ? ». Afin d'apporter les éléments de réponse à cette problématique, notre méthode est une étude de cas. Cette étude va nous indiquer l'effet du greenwashing sur les trois variables : la qualité perçue verte, la satisfaction verte et le bouche à oreille vert.

2 CADRE CONCEPTUEL DU GREENWASHING

Selon Futerra [1], le terme « Greenwashing » été adopté pour la première fois en 1980 par David Bellamy.

En effet, le Greenwashing est utilisé pour désigner les allégations trompeuses ou la publicité mensongère des entreprises qui trompe les consommateurs sur la performance et la fonctionnalité du produit [2]. Il désigne aussi le fait de tromper les consommateurs sur les avantages environnementaux d'un produit ou service ou sur les pratiques environnementales des

entreprises [3]. Ces entreprises-là, s'efforcent de répondre à la demande élevée de leurs consommateurs pour les produits ou services écologiques. Selon TerraChoice, 98% de ces produits ou services pratiquent du Greenwashing [4].

Afin de protéger les consommateurs contre les publicités mensongères et donc contre le greenwashing, la Federal Trade Commission (FTC) a créé en 1992 des guides verts qui ont été mis à jour en 1998. Cette pratique trompeuse de Greenwashing peut rendre la qualité perçue verte des produits faible, ce qui entraîne une insatisfaction. En fin de compte, les consommateurs ne veulent pas croire les activités du marketing vert des entreprises [2].

L'objectif de cet article est d'examiner les relations entre le Greenwashing et la qualité perçue verte des produits, la satisfaction verte des clients et le bouche à oreille vert.

Nous allons alors tester l'application du modèle de (Y-S Chen, C-L Lin et C-H Chang) [5] dans un cadre marocain auprès d'une cible de 220 étudiants. Ce modèle comprend les quatre variables (Greenwashing, qualité perçue verte, satisfaction verte et bouche à oreille vert), et ces variables-là sont liées par des hypothèses (Voir figure 1).

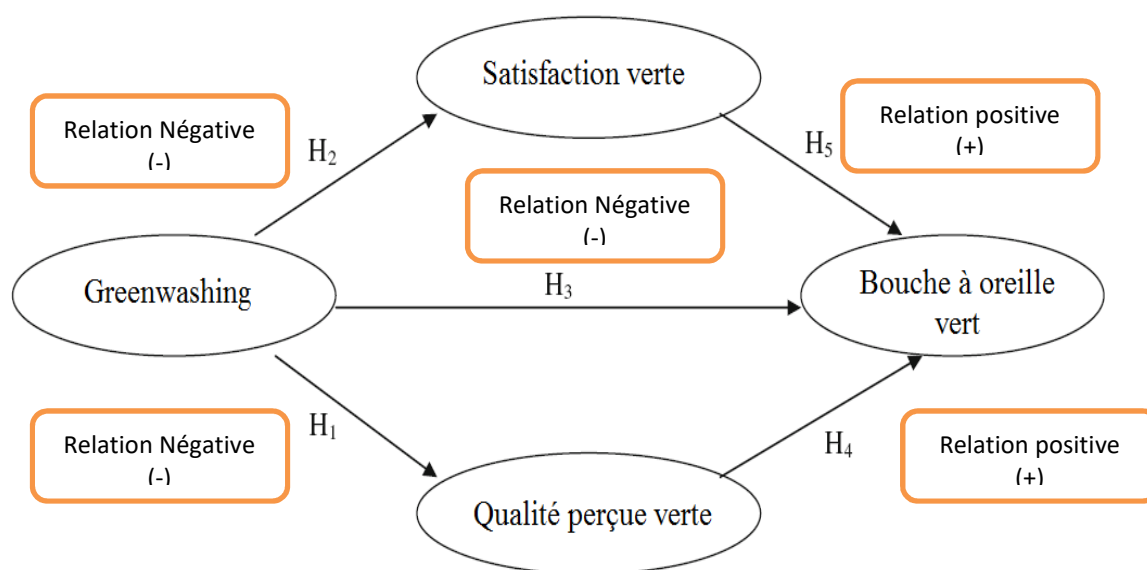


Fig. 1. Le modèle de (Y-S Chen, C-L Lin et C-H Chang)

Alors, nos variables sont :

- Variables explicatives : Greenwashing et bouche à oreille vert ;
- Variables médiatrices : qualité perçue verte et satisfaction verte.

Ce modèle va nous permettre de tester quatre hypothèses :

- H1 : Le Greenwashing est négativement associé à la qualité perçue verte ;**
- H2 : Le Greenwashing est négativement associé à la satisfaction verte ;**
- H3 : Le Greenwashing est négativement associé au bouche à oreille vert ;**
- H4 : La Qualité perçue verte est positivement associée au bouche à oreille vert ;**
- H5 : La Satisfaction verte est positivement associée au bouche à oreille vert.**

2.1 LA QUALITÉ PERÇUE VERTE : VARIABLE 1

La qualité perçue est affectée par l'impression préexistante du consommateur, elle peut être mesurée par : la capacité de service, la performance, facilité d'utilisation et fonctionnalité du produit.

Toutefois que la qualité des produits bios est faible ou qu'ils comprennent de fausses allégations, les consommateurs hésitent de les acheter [6]. C'est pourquoi la qualité perçue verte a un rôle important pour faire confiance aux produits.

Comme définition, la qualité perçue verte c'est la perception des consommateurs envers l'excellence écologique et environnementale des produits [7].

2.1.1 L'EFFET DU GREENWASHING SUR LA QUALITÉ PERÇUE VERTE

Le Greenwashing est exploité afin d'évoquer les fausses allégations des entreprises. Il affecte la demande du marché ce qui rend les consommateurs confus à l'achat des produits bios [8]. Mais, le greenwashing a endommagé le marché puisque il pousse les consommateurs à se méfier des produits bios [2].

Selon la littérature antérieure, la qualité perçue verte est associée positivement à la performance du marketing. Afin d'attirer plus de clients et d'améliorer leurs parts de marché, les entreprises appliquent une qualité de produit unique.

Les informations mensongères ou peu fiables des produits, autrement dit le Greenwashing réduit donc la qualité perçue verte des produits bios [9]. Et par conséquent, le greenwashing est associé négativement à la qualité perçue verte.

2.2 LA SATISFACTION VERTE : VARIABLE 2

Selon France Qualité Publique [10], la satisfaction est la perception de la valeur entre le service attendu et le service perçu. L'amélioration de la satisfaction est une difficulté pour toute entreprise [11].

Comme définition de la satisfaction verte, [12] la considère comme une classe d'achèvement de la consommation pour satisfaire les attentes durables et les besoins et désirs écologiques.

2.2.1 L'EFFET DU GREENWASHING SUR LA SATISFACTION VERTE

Tout plaisir ressenti par les consommateurs mène à la satisfaction [13]. Afin d'augmenter les ventes des produits bios ainsi que la satisfaction vertes de clients, les entreprises doivent améliorer la performance de leurs produits bios [7].

Le greenwashing est associé positivement au risque perçu par les consommateurs, ce qui entraîne une diminution de la satisfaction verte des clients [14]. Mais cette pratique de Greenwashing sera associée négativement à la satisfaction verte des clients si ces derniers ne peuvent pas distinguer la fiabilité des allégations écologiques [15].

2.3 LE BOUCHE À OREILLE VERT : VARIABLE 3

Le bouche à oreille est la transmission orale des messages ou des recommandations sur des produits entre les individus. Un produit avec de bonne qualité, facile à utiliser et de bonne performance engendre un bouche à oreille positif. Par conséquence, le bouche à oreille vert est défini comme la transmission des messages écologiques positifs d'un produit [16].

2.3.1 L'EFFET DU GREENWASHING SUR LE BOUCHE À OREILLE VERT

Selon la référence [17], les entreprises ne tenaient pas leurs promesses au niveau environnemental et cela était découvert par des consommateurs qui ont constaté que ces entreprises les trompent souvent.

Les entreprises qui pratiquent le greenwashing peuvent ruiner aux attitudes de leurs consommateurs envers leurs activités de marketing vert [3]. Et cela pousse les consommateurs à transmettre des messages environnementaux négatifs sur les produits bios [17] C'est pourquoi le greenwashing à un effet négatif sur le bouche à oreille vert.

2.3.2 L'EFFET DE LA QUALITÉ PERÇUE VERTE SUR LE BOUCHE À OREILLE VERT

La valeur perçue par les clients ainsi que les ventes des produits bios sont positivement marquées par la qualité perçue verte [18]. De telle façon que la qualité perçue verte est importante dans les relations à long terme avec les clients, ce qui la rend en relation positive avec les intentions d'achat. Cette qualité donne un signal fort aux fonctionnalités des produits et leurs valeurs pour les clients [19]. Et donc, selon la référence [18], la qualité perçue verte est associée positivement au bouche à oreille vert. La littérature antérieure montre que la qualité perçue verte mène à un bouche à oreille positif [20].

2.3.3 L'EFFET DE LA SATISFACTION VERTE SUR LE BOUCHE À OREILLE VERT

Selon la littérature antérieure, la satisfaction verte des clients est associée positivement à leurs intentions d'achat. Un client fidèle est un client satisfait et vice versa. Toutes les relations de consommation positives peuvent être créées par la satisfaction [21].

Toutefois les consommateurs passent des expériences satisfaisantes avec des produits, ils transmettent un message positif par rapport aux produits et donc un bouche à oreille vert positif [22]. C'est pourquoi, la satisfaction verte des clients est associée positivement au bouche à oreille vert à l'égard des préoccupations environnementales [12].

3 RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

Notre objectif principal consiste à comprendre la perception des consommateurs marocains au phénomène du Greenwashing. Plus précisément, nous étudierons l'impact du Greenwashing sur la qualité perçue, la satisfaction et le bouche à oreille verts.

3.1 PROCÉDURE

Pour cette étude, nous avons tenté de vérifier auprès d'un échantillon de consommateurs, comment ses derniers perçoivent ou détectent le Greenwashing.

Toutefois, pour la présente étude, nous avons décidé de nous pencher sur les produits marocains de type bio.

Ainsi, cette recherche s'appuie sur un raisonnement inductif car nous allons employer un cheminement de découverte des connaissances. Et, par le biais de notre recherche nous proposerons des théories et un modèle de recherche qui permettront d'achever notre objectif.

Par ailleurs, il s'agit d'une recherche exploratoire-descriptive : au travers de la littérature nous avons étudié l'effet du Greenwashing sur les trois variables « qualité perçue, satisfaction et bouche à oreille verts », mais notre étude peut être considérée comme exploratoire car le phénomène de greenwashing est un sujet récent encore très peu exploité.

3.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNÉES

L'objectif de l'étude est de déterminer la perception du consommateur sur le greenwashing. C'est pourquoi, nous procéderons à une étude quantitative.

La population cible de l'étude est composée des étudiants de la Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales de Meknès. Nous avons abordé les étudiants à la sortie des cours ou de la bibliothèque. En effet, les données sont collectées à l'aide d'un questionnaire imprimé auprès d'un échantillon de 220 répondants.

En définitive, nous avons décidé de recourir aux étudiants car nous avons accès plus facilement à ce type de population étant nous-mêmes intégré dans ce milieu nous pouvions ainsi bénéficier d'un nombre considérable de répondants.

Ainsi, la collecte de données a été faite par le biais d'un questionnaire pour tester les hypothèses. Ce questionnaire a été imprimé et distribué auprès des répondants. De même, nous avons veillé à ce que notre questionnaire soit clair (les mots utilisés, les réponses, police du texte, taille du texte, etc.) afin d'éviter tout biais.

Les items du questionnaire ont été conçus à l'origine en anglais puis traduits en français et même en arabe. Nous avons accordé beaucoup d'attention à l'identification des malentendus ou des ambiguïtés dues à la traduction. Ces items ont été évalués à l'aide d'une échelle de Likert à cinq points (voir tableau 1).

Tableau 1 : Echelle de Likert

	Echelle de Likert
Item 1	Allant de <i>mécontent à très content</i> ;
Item 2	Allant de <i>mauvaise décision à très bonne décision</i> ;
Item 3	Allant de <i>mécontent à très content</i> ;
Item 4	Allant de <i>pas satisfait à très satisfait</i> ;
Item 5	Allant de <i>mauvaise à meilleure</i> ;
Item 6	Allant de <i>jamais à toujours</i> ;
Item 7	Allant de <i>fortement non durable à fortement durable</i> ;
Item 8	Allant de <i>faible à excellente</i> ;
Item 9	Allant de <i>pas du tout professionnelle à fortement professionnelle</i> ;
Item 10	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 11	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 12	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 13	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 14	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 15	Allant de <i>1 à 5</i> ;
Item 16	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 17	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> ;
Item 18	Allant de <i>pas du tout possible à sûrement</i> .

Toutes les questions sont des questions fermées où le répondant doit choisir la réponse qu'il souhaite. Ce choix est justifié par la clarté des objectifs pour le participant et la facilité de remplir le questionnaire.

Et pour éviter tous biais, nous avons fait un pré-test de notre questionnaire auprès de deux experts ainsi que cinq autres personnes pour ressortir les ambiguïtés dans les termes et les significations. Un autre pré-test a été réalisé auprès de 150 étudiants pour vérifier le degré de compréhension des questions, des items, de la terminologie utilisée.

Une analyse sur SmartPLS3 a été réalisée et les résultats ont montré qu'il y'a un grand problème au niveau des variables surtout la variable « Greenwashing ». On a ainsi compris que le majeur problème rencontré par les étudiants était leur faible connaissance à la compréhension de la langue française. Et donc, on a décidé de refaire notre questionnaire en mettant en bas de chaque question en français sa traduction en arabe. Et les résultats cette fois sur SmartPLS3 ont été bons et fiables.

3.3 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Cette étude utilise le modèle d'équations structurelles (Structural Equation Models) qui comprend un grand nombre de méthodologies statistiques, dont l'approche PLS fait partie et qui permet l'estimation de relation de causalités complexes entre des variables latentes mesurées elles-mêmes au travers de variables observées dites manifestes. Ce modèle est utilisé même pour tester les hypothèses. Nous avons utilisé le SEM parce qu'il est le plus adéquat et le plus efficace pour notre cas du fait que le modèle conceptuel que nous souhaitons tester, est composé de plusieurs variables latentes (Greenwashing, Qualité perçue verte, Satisfaction verte et Bouche à oreille vert), ce qui suggère l'utilisation d'un modèle d'équations structurelles à variables latentes. De ce fait, nous avons utilisé le logiciel **SmartPLS 3**.

3.3.1 L'ANALYSE FACTORIELLE

Tout d'abord, on dessine le modèle des hypothèses avec les quatre variables (Greenwashing, Qualité perçue verte, Satisfaction verte et Bouche à oreille vert) ainsi que leurs 18 items (voir figure 2).

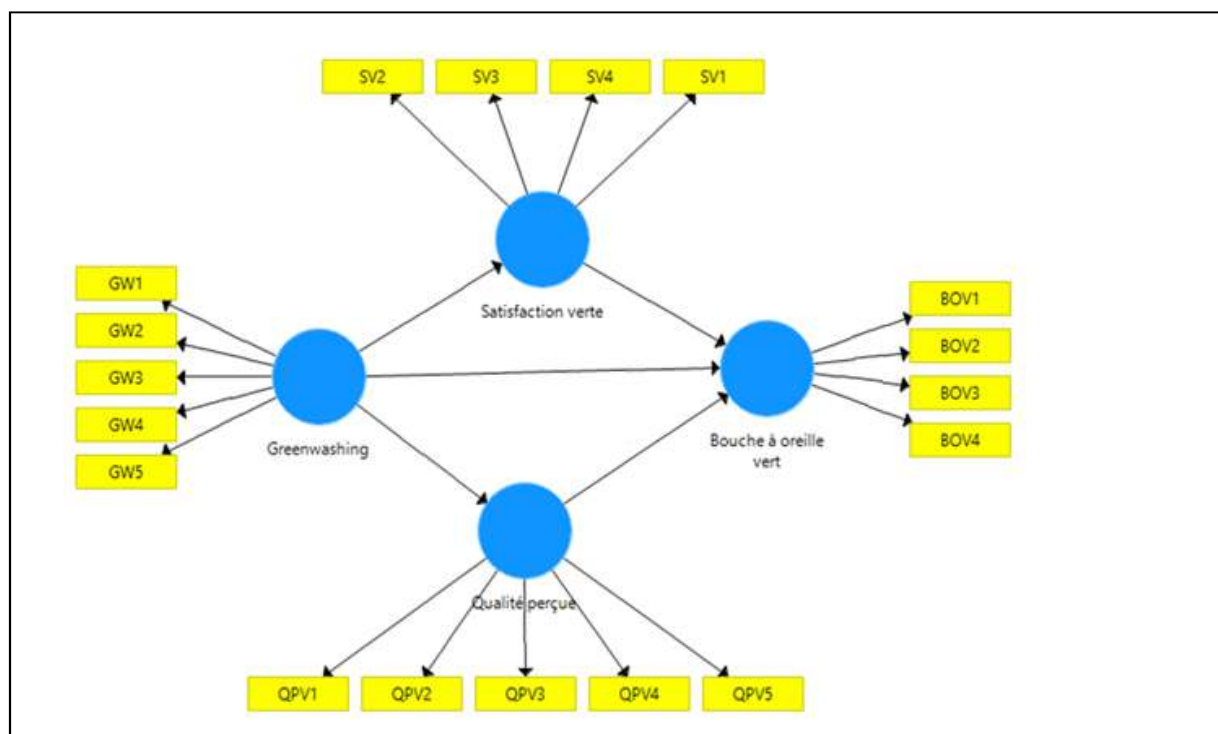


Fig. 2. Modèle d'hypothèses

Source : SmartPLS3

Ensuite on commence par l'analyse factorielle comme première étape. Cette analyse a pour objectif de purifier les items afin d'éliminer les items qui ne sont pas assez significatifs. Plus précisément, on doit éliminer tout item ayant un pouvoir explicatif inférieur à 0.70. Tout résultat supérieur ou égal à 0.70 montre que les items sont bons c'est-à-dire que les échelles de mesure sont fiables et valides. La figure 3 et le tableau 2 illustrent les résultats obtenus pour chaque item.

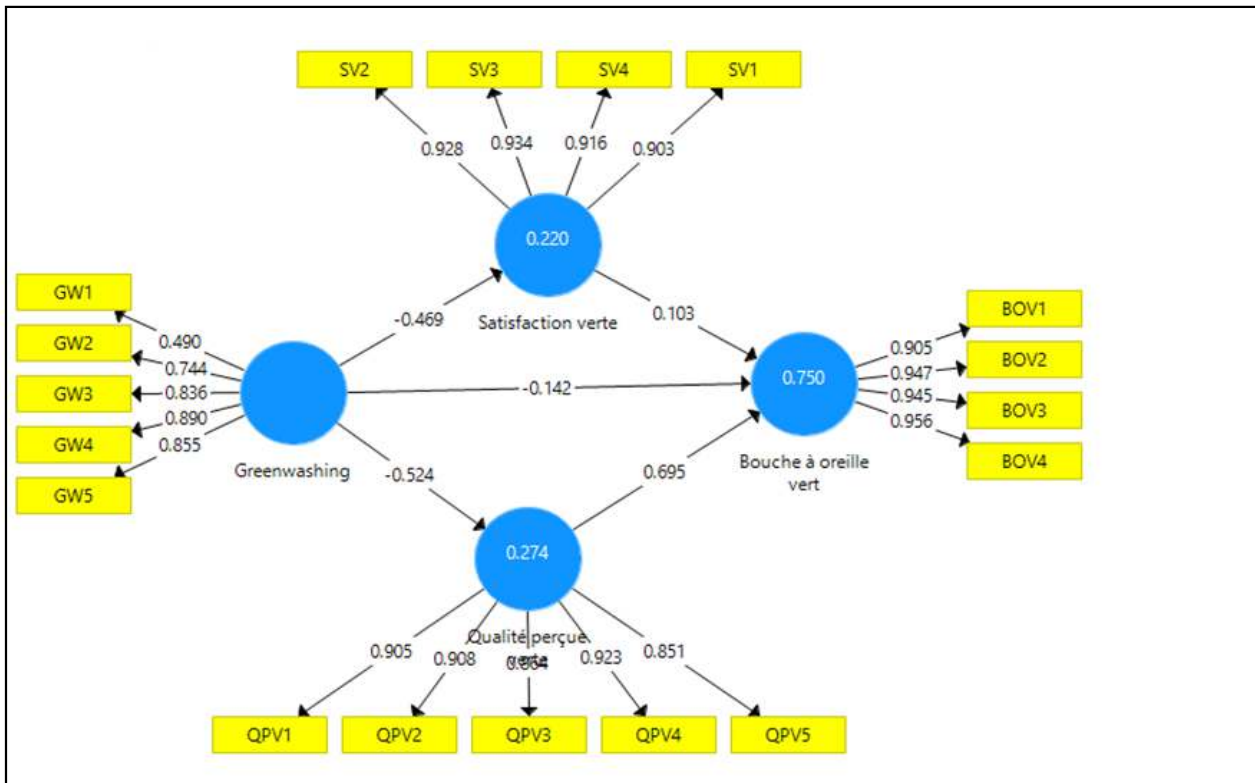


Fig. 3. Modèle d'hypothèses avec analyse factorielle

Source: SmartPLS3

Tableau 2 : Charges externes

	Bouche à oreille vert	Greenwashing	Qualité perçue verte	Satisfaction verte
BOV1	0.905			
BOV2	0.947			
BOV3	0.945			
BOV4	0.956			
GW1		0.490		
GW2		0.744		
GW3		0.836		
GW4		0.890		
GW5		0.855		
QPV1			0.905	
QPV2			0.908	
QPV3			0.864	
QPV4			0.923	
QPV5			0.851	
SV2				0.928
SV3				0.934
SV4				0.916
SV1				0.903

Source : SmartPLS3

D'après les résultats observés dans la figure 2 et le tableau 1, on constate que le pouvoir explicatif du 1^{er} item de la variable Greenwashing est inférieur à 0.7 ($0.490 < 0.70$) ce qui nous empêche de l'éliminer.

Une fois éliminer, on refait notre calcul pour s'assurer que toutes les échelles de mesure sont bonnes. (Voir figure 4).

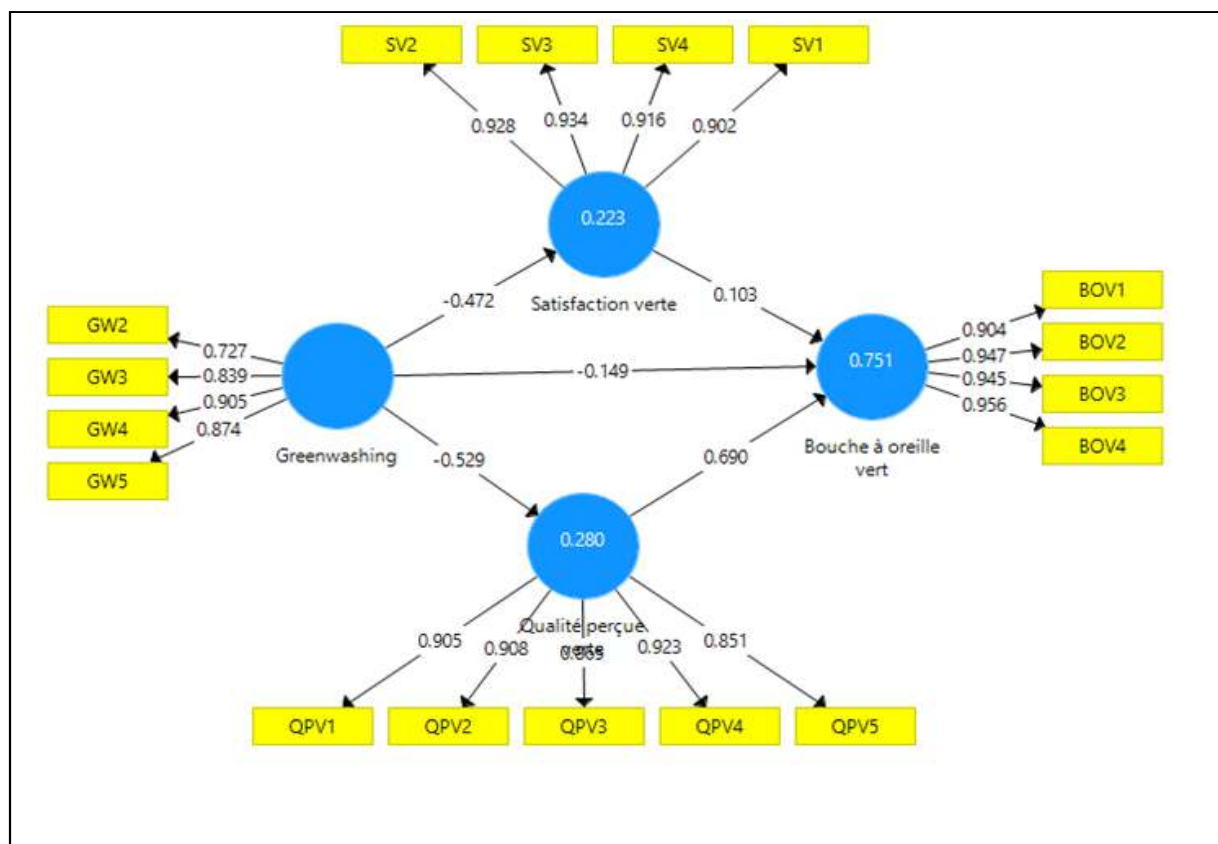


Fig. 4. Modèle d'hypothèses après l'élimination d'item

Source : SmartPLS3

La figure 4 montre que le niveau du pouvoir explicatif de chaque item est satisfaisant (supérieur ou égal à 0.70) ce qui nous permet de considérer que les échelles de mesure des quatre variables sont fiables et valides.

3.3.2 LE TEST FIABILITÉ DES CONSTRUITS

La deuxième étape consiste à tester la fiabilité : *est-ce qu'on mesure bien ce que l'on veut mesurer ?* On utilise le test de fiabilité des construits afin de vérifier si les répondants ont donné des réponses cohérentes au niveau du questionnaire. Cette procédure est souvent recommandée pour s'assurer de la fiabilité des mesures avant de procéder aux tests des hypothèses.

Pour vérifier la fiabilité de nos construits, nous utilisons dans le cadre de cette étude l'Alpha de Cronbach. Ce coefficient permet de mesurer la cohérence interne d'une échelle construite à partir d'un ensemble d'items.

Plus la valeur de l'Alpha est proche de 1, plus la cohérence interne de l'échelle est forte. Pratiquement le α de Cronbach devrait avoir une valeur importante supérieure ou égale à 0.70 pour justifier la fiabilité de construit.

Le tableau ci-dessous met en relief les résultats du test de fiabilité de construit.

Tableau 3 : Fiabilité et validité du construit

	Alpha de Cronbach	rho_A	Fiabilité composite	Average Variance Extracted (AVE)
Bouche à oreill...	0.955	0.955	0.967	0.880
Greenwashing	0.857	0.861	0.904	0.704
Qualité perçue ...	0.934	0.936	0.950	0.793
Satisfaction verte	0.940	0.943	0.957	0.847

Source : SmartPLS3

L'analyse de la fiabilité des quatre construits « Bouche à oreille vert, Greenwashing, Qualité perçue verte et Satisfaction verte » affiche des scores d'Alpha de Cronbach supérieur au seuil de 0.70, ce qui reflète une bonne cohérence de l'échelle de mesure des quatre construits et cela montre qu'on mesure bien ce qu'on est en train de mesurer.

3.3.3 LES TESTS DE VALIDITÉ

La troisième étape consiste à tester la validité : *est-ce que le résultat obtenu est réel et non biaisé ?* On utilise le test de validité pour montrer la relation qui existe entre ce que le test mesure en réalité et ce qu'il est censé mesurer.

On peut distinguer entre deux types :

- **La validité convergente** pour s'assurer que les résultats obtenus reflètent de la réalité et qu'ils ne sont dû ni à un biais ni au hasard. Statistiquement, les items du même construit soient fortement corrélés.
- **La validité discriminante** pour rendre compte de la capacité de l'étude à produire des résultats généralisables. Statistiquement, elle est démontrée lorsque la mesure d'un construit est faiblement corrélée avec la mesure d'un autre construit.

3.3.3.1 LA VALIDITÉ CONVERGENTE

On peut évaluer la validité convergente du modèle structurel selon deux indicateurs : « la fiabilité composite » dont le seuil d'acceptabilité est de 0.70, et « la variance extraite moyenne (Average Variance Extrated ou AVE) » dont le seuil d'acceptabilité est de 0.60 (Fornell et Larcker, 1981).

Le tableau ci-dessous met en relief les résultats du test de la validité convergente.

Tableau 4 : Fiabilité et validité du construit

	Alpha de Cronbach	rho_A	Fiabilité composite	Average Variance Extracted (AVE)
Bouche à oreill...	0.955	0.955	0.967	0.880
Greenwashing	0.857	0.861	0.904	0.704
Qualité perçue ...	0.934	0.936	0.950	0.793
Satisfaction verte	0.940	0.943	0.957	0.847

Source : SmartPLS3

On constate que les quatre variables ont atteint des scores de fiabilité composite supérieurs à 0.70, même que l'AVE affiche aussi des scores supérieurs à 0.60, ce qui signifie que nos résultats attestent d'une validité convergente correcte.

3.3.3.2 LA VALIDITÉ DISCRIMINANTE

On teste la validité discriminante avec le test de « Cross Loading ».

Le tableau ci-dessous met en relief les résultats du test de la validité discriminante.

Tableau 5 : Validité discriminante

	Bouche à oreille vert	Greenwashing	Qualité perçue verte	Satisfaction verte
Bouche à oreille vert	0.938			
Greenwashing	-0.563	0.839		
Qualité perçue verte	0.855	-0.529	0.890	
Satisfaction verte	0.749	-0.472	0.834	0.920

Source : SmartPLS3

Dans notre cas, la validité discriminante est vérifiée puisque les items qui sont rattachés au même construit (valeurs entourés en rouge) sont fortement corrélés ce qui montre qu'il n'y a pas de redondance entre les items.

4 LE TEST DU MODÈLE STRUCTUREL

Afin d'apporter des éléments de réponses à notre problématique, on doit passer nécessairement par la vérification de nos hypothèses prédéfinies. C'est la quatrième et la dernière étape.

Pour ce faire, on va se baser sur le coefficient de P-Value qui est donné par l'analyse Bootstrapping sous le logiciel SmartPLS3.

La P-Value est la probabilité pour un modèle statistique donné sous l'hypothèse nulle d'obtenir la même valeur ou une valeur encore plus extrême que celle observée. Plus la valeur de la P-Value est proche de zéro, plus la compatibilité est forte ce qui conduit d'accepter l'hypothèse. Le tableau ci-dessous présente les résultats des tests des hypothèses du modèle conceptuel.

Tableau 5 : Résultats des tests des hypothèses

Hypo	Relation	Echantillon initial (O)	Moyenne de l'échantillon (M)	Ecart-type (STDEV)	Valeur t (O/STDEV)	P-Value	Décision
H1	Greenwashing → Qualité perçue verte	-0.529	-0.531	0.049	10.852	0.000	Supportée*
H2	Greenwashing → Satisfaction verte	-0.472	-0.475	0.053	8.821	0.000	Supportée*
H3	Greenwashing → Bouche à Oreille vert	-0.149	-0.149	0.043	3.434	0.001	Supportée*
H4	Qualité perçue verte → Bouche à Oreille vert	0.690	0.691	0.066	10.378	0.000	Supportée*
H5	Satisfaction verte → Bouche à Oreille vert	0.103	0.101	0.066	1.566	0.118	Non supportée

Significatif à $P^* = < 0.01$

Source SmartPLS3

On constate que la corrélation entre les variables des quatre premières hypothèses est significative au seuil de 1% puisque la valeur de la P-Value est de 0.000 pour H1, H2 et H4, est de 0.001 pour H3. De ce résultat, on peut dire que les hypothèses H1, H2, H3 et H4 sont acceptées.

En revanche, la corrélation entre les variables de la cinquième hypothèse n'est pas significative, puisque la valeur de la P-Value est de 0.118. Donc l'hypothèse H5 est rejetée.

5 DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS

Les résultats obtenus de l'étude exploratoire nous ont aidés de vérifier nos hypothèses. Le logiciel SmartPLS3 nous a permis tout d'abord, de faire une analyse factorielle, dans un deuxième temps, de s'assurer que les échelles de mesure utilisées sont fiables à l'aide du test de fiabilité, ensuite de tester la validité des construits par le test de validité (la validité convergente et la validité discriminante) et enfin, de tester nos hypothèses.

Dans cette étude, toutes les hypothèses ont été supportées sauf la dernière, ce qui montre que la satisfaction verte est négativement associée au bouche à oreille vert, plus précisément le bouche à oreille peut des fois induire en erreur c'est-à-dire que la satisfaction verte pourrait être à l'origine d'un bouche à oreille négatif, même qu'elle pourrait jouer un rôle critique en créant une relation de communication négative c'est donc que le bouche à oreille vert n'est pas un élément essentiel pour une satisfaction verte.

En effet, beaucoup d'entreprises ont recours au Greenwashing pour promouvoir leur produit, que ce soit en utilisant une image verte trop suggestive, en employant des mots vagues ou encore en exagérant les arguments environnementaux. Cette étude démontre que la réduction du Greenwashing peut améliorer le bouche à oreille vert. De plus les résultats indiquent que le Greenwashing affecte négativement à la fois la satisfaction verte et la qualité perçue verte qui est positivement associée au bouche à oreille vert. De ce fait, les entreprises doivent s'engager de manière profonde et pérenne sur des actions d'identification et de réduction de leurs activités de Greenwashing et d'augmenter la qualité perçue verte de leurs consommateurs afin d'en sortir avec un bouche à oreille vert positif.

Ainsi Notre Modèle pour Notre étude est :

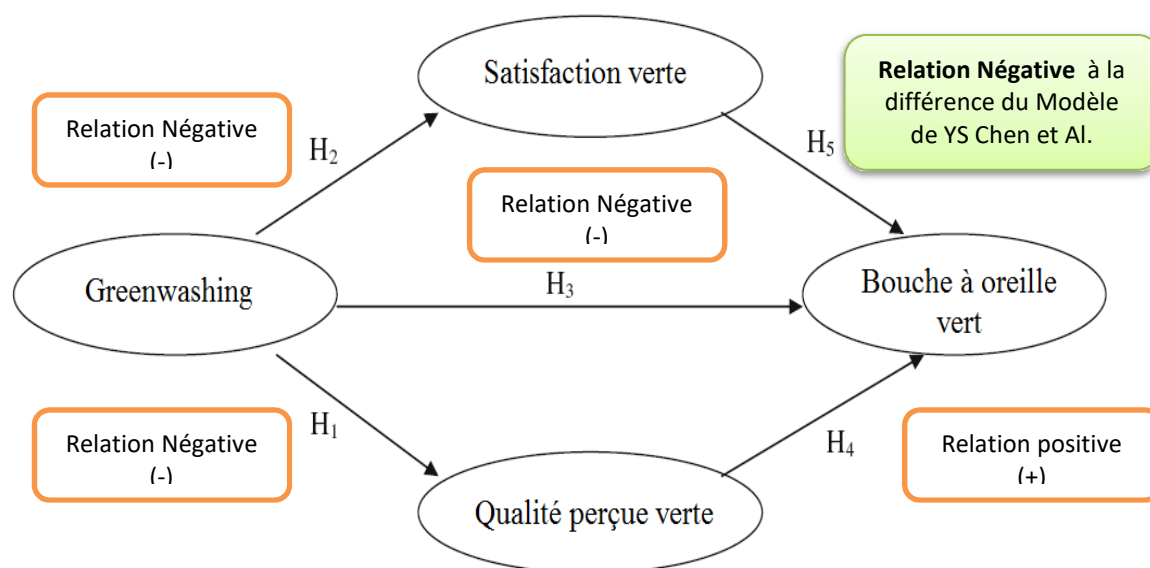


Fig. 5. Modèle d'hypothèses pour le cas marocain

Source : KHARIFI badr, BERRADA kaoutar, ADYIOUBAH Fatiha ; 2018

L'Hypothèse H5 demeure alors la seule hypothèse infirmée par rapport aux autres hypothèses du Modèle de YS Chen et Al. dans le cadre du Contexte marocain.

6 CONCLUSION

Bien que la société décourage le greenwashing, cette pratique est toujours répandue sur le marché. Nous pouvons avancer que dans un contexte où le greenwashing est devenu de plus en plus une pratique cruciale trompeuse qui peut être assimilée à la publicité mensongère, les entreprises doivent reconsidérer leurs faits à ce niveau, même qu'elles tentent d'afficher des préoccupations environnementales et des allégations nutritionnelles saines qu'elles sont loin d'avoir dans leurs pratiques. Désormais, la prévention au Greenwashing doit être partie intégrante de la stratégie marketing des entreprises et surtout celles du secteur agroalimentaire.

Cet article construit un modèle de recherche pour explorer l'effet du greenwashing sur la qualité perçue verte des produits, la satisfaction verte des clients et le bouche à oreille vert. En d'autres termes, cette étude fournit la réduction du greenwashing comme un moyen d'amélioration de la qualité perçue, la satisfaction et le bouche à oreille verts. Donc nous avons pour mission dans cet article d'identifier l'impact du greenwashing sur les quatre variables « qualité perçue verte, satisfaction verte et bouche à oreille vert ». En outre, nous voulions savoir comment les consommateurs marocains perçoivent et détectent le Greenwashing.

Ainsi, les résultats indiquent que le Greenwashing est négativement associé à la qualité perçue verte, la satisfaction verte et le bouche à oreille vert, alors que la qualité perçue verte est positivement associée au bouche à oreille vert et la satisfaction verte est négativement associée au bouche à oreille vert. Cela montre que, plus le Greenwashing diminue sur le marché, plus les consommateurs croient aux allégations vertes. Et afin de réduire cette pratique, les entreprises doivent rendre leurs revendications vertes plus fiables et moins ambiguës.

REFERENCES

- [1] Futerra sustainability communications, The greenwash guide.
[Online] Available: <https://www.slideshare.net/patsario/futerra-greenwash-guide> ;
- [2] Polonsky, M.J., Grau, S.L., Garma, R.: The new greenwash? Potential marketing problems with carbon offsets, *International Journal of Business Studies*, (2010) ;
- [3] Parguel, B., Benoît-moreau, F., Larceneux, F, How sustainability ratings might deter 'greenwashing': a closer look at ethical corporate communication, *Journal Of Business Ethics*, (2011) ;
- [4] Terra Choice, les péchés de mascarade écologique, édition familiale (2010).
[Online] Available: <http://sinsofgreenwashing.com/index35c6.pdf>
- [5] Yu-ShanChen · Chang-LiangLin · Ching-Hsun Chang, The influence of greenwash on green word-of-mouth (green WOM): the mediation effects of green perceived quality and green satisfaction, *Springer Science+Business Media Dordrecht* (2013) ;
- [6] Kalafatis Stavros P., Pollard Michael, Robert East, Markos H. Tsogas, Green marketing and Ajzen's theory of planned behaviour: a cross-market examination, *Journal of Consumer Marketing*, (1999) ;
- [7] Chen and Chang, Towards green trust: the influences of green perceived quality, green perceived risk, and green satisfaction, (2013c) ;
- [8] Pomeroy, A., Advertising corporate social responsibility initiatives to communicate corporate image: inhibiting scepticism to enhance persuasion, *Corporate Communications: An International Journal*, (2009) ;
- [9] Laufer, W.S., Social accountability and corporate greenwashing, *Journal of Business Ethics*, (2003) ;
- [10] France Qualité Publique, La satisfaction des usagers/clients/citoyens du service public, (1 Mai 2004) ;
- [11] Ranaweera Chatura, Prabhu Jaideep, The influence of satisfaction, trust and switching barriers on customer retention in a continuous purchasing setting, *International Journal of Service Industry Management*, (2003) ;
- [12] Chen, Y.S, The drivers of green brand equity: green brand image, green satisfaction, and green trust, *Journal Of Business Ethics*, (2010) ;
- [13] Oliver, Satisfaction: A Behavioral Perspective on the Consumer, (1996) ;
- [14] Slaughter, P., Avoid the pitfalls of greenwash, (2008) ;
- [15] Gillespie, E., Stemming the tide of greenwash, *Consumer Policy Review*, (2008) ;
- [16] Söderlund, Customer satisfaction and its consequences on customer behaviour revisited: the impact of different levels of satisfaction on word-of-mouth, feedback to the supplier and loyalty, *International Journal of Service Industry Management*, (1998) ;
- [17] Ramus, C.A., Montiel, I., When are corporate environmental policies a form of greenwashing?, *Business & Society*, (2005);
- [18] Zeithaml, V.L., Berry, L.L., Parasuraman, A., The behavioral consequences of service quality, *Journal Of Marketing* (1996);
- [19] Brucks, M., Zeithaml, V.A., Naylor, G., Price and brand name as indicators of quality dimensions for consumer durables, *Journal of the Academy of Marketing Science*, (2000) ;
- [20] Chaniotakis, I.E., Lymperopoulos, C, Managing, Service quality effect on satisfaction and word of mouth in the health care industry, *Service Quality*, (2009) ;
- [21] Zhang, X., Prybutok, V., A consumer perspective of e-service quality, *IEEE Transactions on Engineering Management*, (2005).
- [22] Babin, B.J., Lee, Y.K., Kim, E.J., Griffin, M., Modeling consumer satisfaction and word-of-mouth: restaurant patronage in Korea, *Journal of Services Marketing*, (2005) ;

Simulation of an Intranet-Based Module Gnuplot

Ayedh Abdulaziz Mohsen, Nashwan Ahmed Al-Majmar, and Khaled M. Alalayah

Department of Math's and Computer,
Faculty of Science, Ibb university, Ibb, Yemen

Copyright © 2018 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: Here we propose a modified module of gnuplot for simulation based on the global network named webgnuplot, which provides an interface with an independent operating environment, thereby performing gnuplot simulation from any connected network computer via a web-based application that can be used remotely throughout the network connection. We describe the module architecture of the web gnuplot and show that this module has been successfully used to perform simulation from any computer with intranet access, without having to install any software or plug-in.

KEYWORDS: gnuplot, simulation, webgnuplot, Intranet, Web server, Web-client, modeling.

1 INTRODUCTION

Gnuplot is a freely distributed plotting tool with ports available for nearly every major platform. It can be operated in one of two modes, i.e when you need to adjust and prettify a graph to "get it just right," you can operate it in an interactive mode by issuing commands at the gnuplot prompt. Alternately, gnuplot can read commands from a file and produce graphs in batch mode[1]. The batch-mode capability is especially useful if you are running a series of experiments and need to view graphs of the results after each execution, or when you are needing to return to a graph to modify some aspects after the graph was originally generated.

With the increase of Internet opened which a new opportunity in the areas of distributed design and the World Wide Web has emerged as the most desirable platform for distributed access to information. The described module of gnuplot in [2] together with our developed model webgnuplot allowing simulation and training in the field of technology as a local (Intranet), and as a global network of Internet .

The main problem that needs to be solved is the possibility to develop the module of gnuplot that can be used on the internet. Therefore, it is important to develop methods that can be taken into consideration in order to the precedence over the network and then browsers independent platform.

The main problem requires to solve the following sub problems :

1. Minimization of the amount of data which must be sent to the network
2. Problem sharing between web server and web client
3. Choosing of programming tools used for various tasks
4. Development of special user interfaces
5. Use of multiple servers distributed around the world and job sharing among them
6. Security and account processing
7. Mobiles software used on servers and clients.

The special feature is that the web application runs the server automatically and the client in this case only receives the results. Transferring requests and results of their processing takes place through the internet and displays query results as well as receiving data from the user and that can be is transmitted to the server and usually handled by a special application – "Internet Explorer".

2 MODELING IN GNUPLOT MODULE ENVIRONMENT

Gnuplot converts raw tabular data into a graphic file image. Popular formats are png, pdf, and jpeg, and they can then be presented either on the fly or directly to an X terminal. The image can also be imported into documents. A command interface is used to interact with gnuplot using the 'set' commands to specify how the image is to be formatted and presented. Typically this includes the sizing of the graph, colors to be used, the scale, x,y coordinates, and the output image name. The plot command is then used to actually generate the image using the gnuplot engine. There is also the splot command that will draw 3-D graph images[3].

Using gnuplot:

There are two main ways:

First, using command Gnuplot and after starting the program you will be prompted:

```
gnuplot>
```

Then, you can enter commands. For example, the string:

```
gnuplot> plot "xyz.dat".
```

Second (more convenient), gnuplot can read commands from a file offered to it (usually - with the extension .gnu). For example, the command "gnuplot howtoplot.gnu" indicates gnuplot to execute the file "howtoplot.gnu". Fig. 1 shows the main window of the gnuplot module.

The following code will help you to get start:

```
set title "webgnuplot"
```

```
set xrange[-10:10]
```

```
set yrange[-2:2]
```

```
set zeroaxis
```

```
plot (x/4)**2,sin(x),1/x.
```

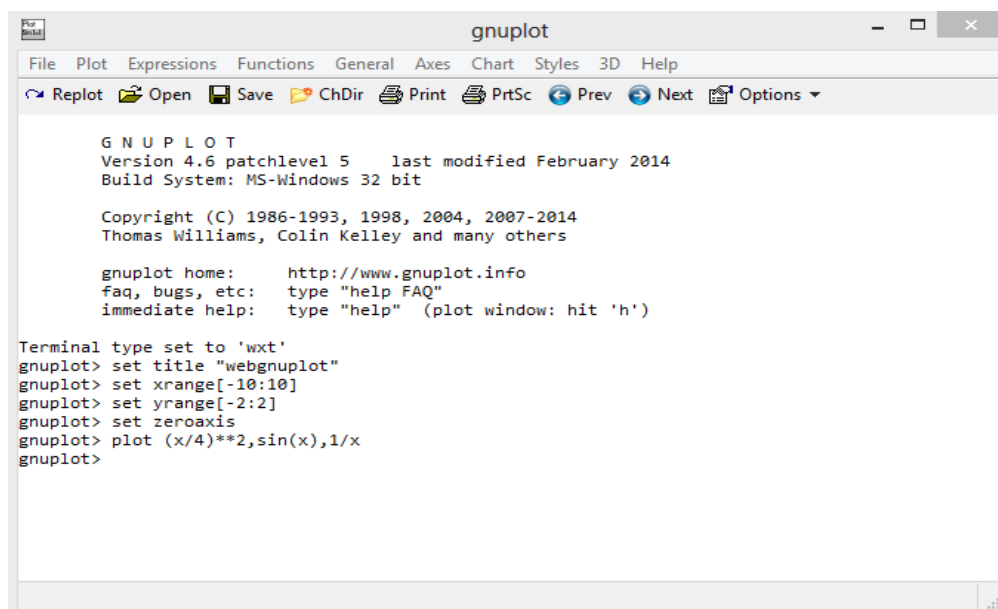


Fig. 1. The Main Window of the Module Gnuplot

The main window consists of the standard menus, toolbars, a field to enter the input parameters in the work file and simulation results for previous plot function will be displayed in the form of graphs as shown in Fig. 2.

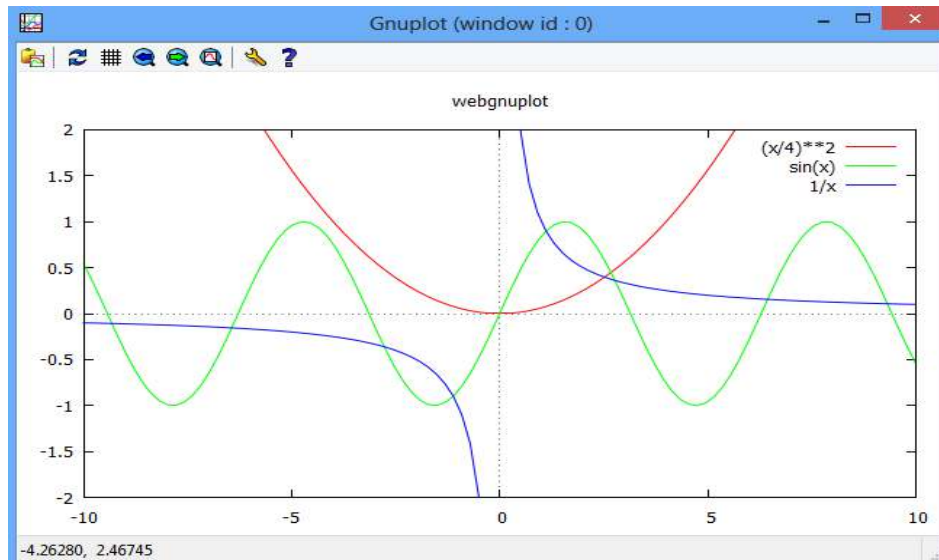


Fig. 2. The window with the results of modeling in gnuplot

3 USED NETWORK APPLICATION TECHNOLOGY

Although it is possible to develop network applications using php or other compiled languages, the approach presented here is far more efficient. It is much easier to develop networked applications using dedicated software, and there are several very well developed network programming tools available today, these tools include HTML, PHP, JavaScript, C#, Java, and PERL [4-6].

Web applications are transferred through a network when requested, and execution is performed entirely on the client machine that makes the request. In php much less information has to be passed to the server and the server executing instructions based on the given information and sending the results back to the local machine that makes the request. Fig. 3 shows the program component division and data flow in a network based application.

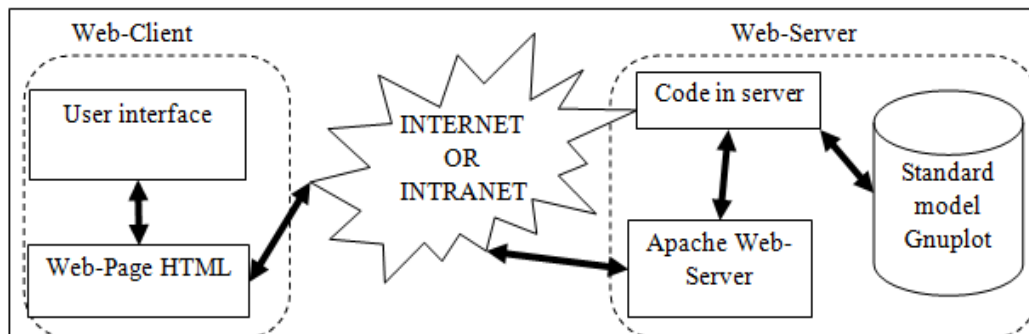


Fig. 3. Data Flow in a Network-Based Application

Some of these calculations are performed on the server and the other part on the client machine. Some of information can be sent frequently in both directions between the client and the server. It would be nice to follow the concept of the web-based applications and have most of the computing done on the client machine.

This approach, however, is not viable for three main reasons:

1. Gnuplot package, usually very large, and thus not practical to send via the network completely.
2. Developers give your software without the possibility of monitoring its use.
3. WEB- applications used on-line and on-demand slower than regular software.

For example, graphics should be generated on the server and sent to a client as a GIF or PNG file, or should only text and binary data be sent to the client. The data traffic between the server and client in the first case is bi-directional with little data sent as requests from client to server, and much more sent back to the client as images created after receiving the request. In the latter case, all data is transferred to a client machine together Web- Application. The main function of this Application is to process the user's requests of data visualization without further transmissions from the server. The first case, should be chosen with small overhead in data transfer before data could be displayed.

To be successful, **two** conditions must be met:

- The Internet should have a proper bandwidth.
- Gnuplot tools should be developed differently than the software running on the same computer.

4 WEBGUNPLOT ARCHITECTURE

4.1 PROPOSED MODULE

Webgnuplot is a client-server application as shown in Fig 4: On the client side, a graphic user interface, called gnuplot, is used for simulation. The server side basically consists of a php that manages the entire data flow between the Gnuplot simulation, the Gnuplot Input Interpreter (GII) and the Gnuplot Output Interpreter (GOI) which are used for graphical post processing of the simulation results.

Starting the simulation will cause Webgnuplot to generate a Gnuplot data of the PlotScript and send it to web server. On the web server, the PHP load data into the Gnuplot Input Interpreter (GII) and starts a Gnuplot simulator corresponding to the data. Although simulation the results will be loaded into the Gnuplot Output Interpreter (GOI). The proposed following code in php sends the simulation result as image in png format:

```
<?php
function getfileName ( $Wgnuplotsrc ) {
    // determine the file format of the plotted graph image - default is png
    $format = "png";
    $tpos = strpos($Wgnuplotsrc, "set terminal ");
    if( $tpos !== false ) {
        $format = "";
        $tpos = $tpos + strlen("set terminal ");
        $done = false;
        do {
            $char = substr($Wgnuplotsrc, $tpos, 1);
            $tpos = $tpos + 1;
            if( $char !== false ) {
                if( ($char == " ") || ($char == "\n") || ($char == "\t") ) {
                    $done = true;
                } else {
                    $format .= $char;
                }
            } else {
                $done = true;
            }
        } while( !$done );
        $format = trim($format);
        if( (strlen($format) == 0) || (strlen($format) > 6) ) $format = "xxx";
    }
    $filename = md5($gnuplotsrc) . "." . $format;
    return $filename;
}?
```

The GOI send the data into portable network graphics format (png). PNG is a raster graphics file format that supports lossless data compression. PNG was created as an improved, non-patented replacement for Graphics Interchange Format (GIF), and is the most used lossless image compression format on the Internet". Thereafter, the images are embedded into a

dynamically created HTML-document which will be sent back to the web client. The emerging network traffic of this method is negligible, because one image has a size of 5 kByte. Block diagram of the Internet for remote simulation environment webpuplot module is shown in Fig. 4.

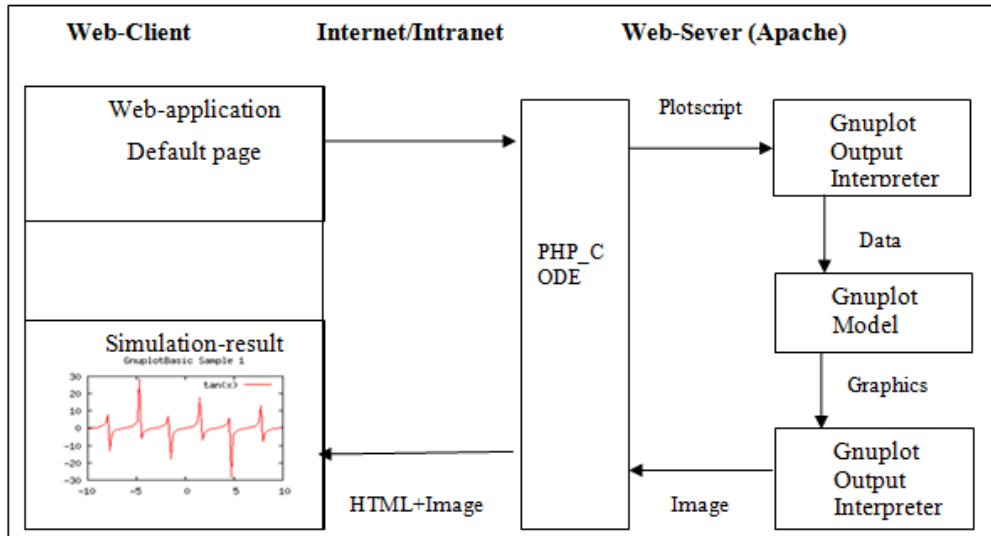


Fig. 4. Webgnuplot Architecture and Data Flow

The central place in the creation of systems owned Web-server that hosts used for the design and calculation of the software. The web-server provides the user to access to the site, as well as conducting the processing of all requests entered by the user through the browser and to exchange information on the current status of the project, received and processed at the user's request. Thus, Web-server is the link between the Internet and the user's web browser.

4.2 IMPLEMENTATION OF WEBGNUPLLOT

In the development of Webgnuplot, we will creat distributed applications, and is it implement browser-independent platforms.The Webgnuplot is based on the three-tier client/server-computing model in which on the client side the front-end software allows the user to prepare input text files, send them to the server, set simulation parameters and run the simulator in the server and view output via standard Web browsers to the user.

Simulation algorithm in Webgnuplot:

1. Starting webgnuplot through web browser.
2. Writing the gnuplot code between the tag `<gnuplot>` , `</gnuplot>`.
3. Sending written tag in web client to the server of gnuplot for simulation .
4. The web server will generate and send it to web client.
5. The graph image (e.g. 4011db...0072995.png) is then shown on the fig.7.

Therefore, we will explain some of simulation algorithm, which will be run through web browser home page, shown in fig.5.

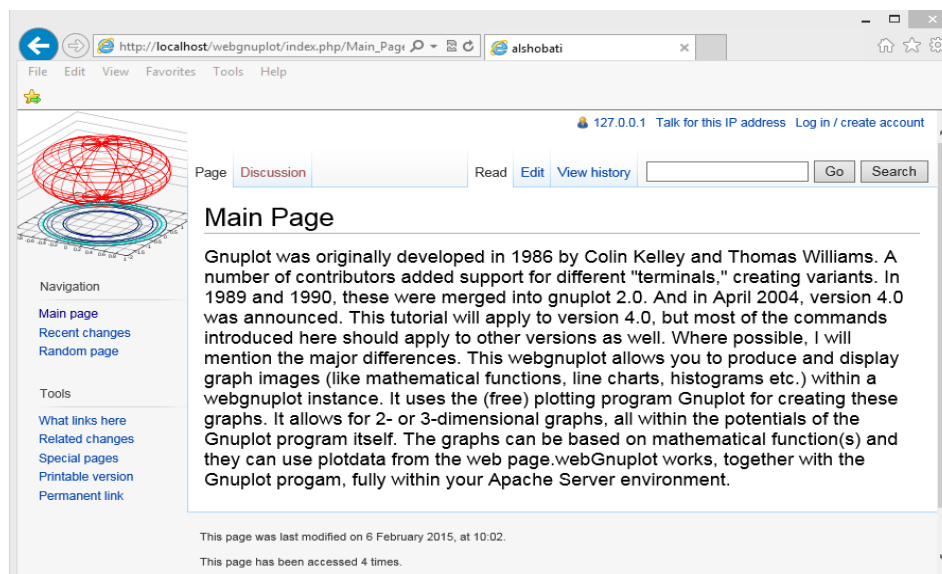


Fig. 5. Home page Web-site with Module Webgnuplot

On the Web-site which contains information describing the software package gnuplot. Directly on the Web-site have the option to call button edit with dynamic envelope (fig. 6), intended to enter the directives and parameters on the simulation environment webgnuplot.

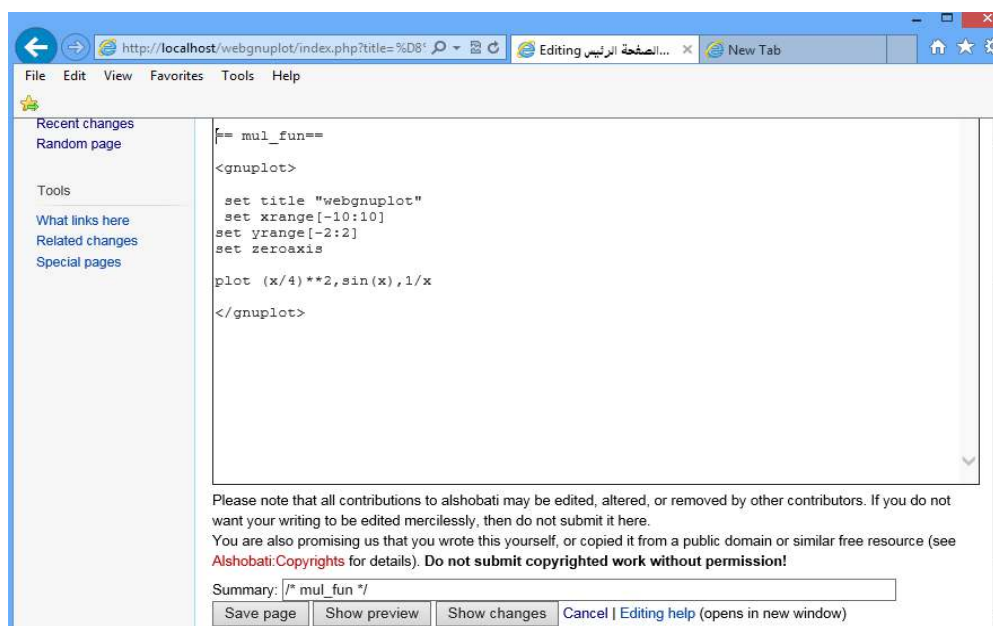


Fig. 6. Window Web-sites with dynamic envelope

The button "Save page" is used to submit the form with the task of modeling. The content of the form is read and written to a temporary file that is used by Gnuplot modeling to build and save a PNG graphs. Simulation results will be displayed in specified area in the form of graphs shown in Fig. 7.

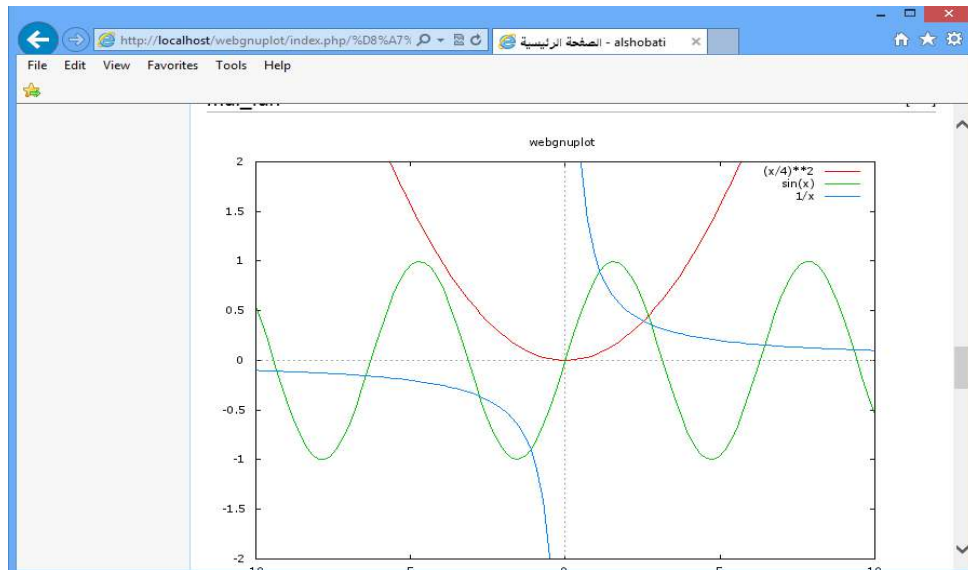


Fig. 7. Window Web-site with the Results of Modeling in Webgnuplot

5 CONCLUSION

In the present paper Webgnuplot module was developed and implemented, that organizes the simulation by intranet. It was developed a web tool "Webgnuplot" based on gnuplot, which provides web access to gnuplot for windows operating systems. Webgnuplot provides inputting data through web browser and simulates these data and sends the simulation results back to web client as image in png format.

REFERENCES

- [1] David Tansley, "Using gnuplot to display data in your Web pages" IBM DEVELOPER WORKS System Administrator Ace Europe .19. January .2010. www.ibm.com/legal/copytrade.shtml.
- [2] Nishanth Sastry, Staff Software Engineer, IBM "Visualize your data with gnuplot". 22 Jul 2004. <http://www.ibm.com/developerworks/library/l-gnuplot/>
- [3] Hank Shiffman, Boosting Java Performance: Native Code and JIT Compilers, <http://www.disordered.org/Java-JIT.html>
- [4] Object management Group, The Common Object Request Broker: Architecture and Specification, v. 2.2, published by Object Management Group, February 1998. <http://www.cobra.org/>
- [5] Thomas Williams & Colin Kelley, "gnuplot An Interactive Plotting Program "Version 4.2 organized by: Hans-Bernhard Broker, Ethan A Merritt, and others .3 .March .2007. P.39-75.
- [6] Aleksander Malinowski, Bogdan M. Wilamowski, "Web-based C++ Compiler "Bradley University, Peoria, IL / University of Wyoming, Laramie, WY Session 2532.
- [7] David Kotz,/" LATEX and the Gnuplot Plotting Program": Principal author of this tutorial for gnuplot 3.0, July 3, 1991
- [8] M.N. NAJBUK, V.V. NELAYEV, "Software-Hardware module GUI-SUPREM III for microelectronics technology design and training" Minsk, 220013, Belarusian 2007.P.136-144.
- [9] Starzak L., Swiercz B., Zubert M., Napieralsky A., "SPICE-Based simulation Website: Application to Teaching of Power Electronics", Proc. CADSM'2003. Lviv-Slavsko, Ukraine, 2003. P. 334–336.
- [10] Sweet, W. and Geppert, L., "It has changed everything, especially our engineering thinking," IEEE Spectrum, January 1997, P. 23-37.
- [11] D.Alles and G.Vergottini, Taking a Look at Internet-based Design in the Year 2001, Electronic Design, Jan.6, 1997, P. 42-50.
- [12] <http://www.gnuplot.info>
- [13] <http://www.mediawiki.org>
- [14] <http://www.wikipidia.org/>
- [15] <http://www-tcad.stanford.edu>
- [16] <http://www.php.net>
- [17] <http://www.perl.net>

BIOGRAPHY



Ayedh Abdulaziz Mohsen received his B.S. degree in engineering and technology from Saint Petersburg Electro technical University "LETI", Saint Petersburg, Russian Federation, in 2006, the M.S. degree in engineering and technology from Saint Petersburg Electro technical University "LETI", Saint Petersburg, Russian Federation, in 2008, and the Ph.D. degree in Technical Sciences from Saint Petersburg Electro technical University "LETI", Saint Petersburg, Russian Federation, in 2011. He is assistant professor in Department of Math's and Computer, Faculty of Science, Ibb University, Yemen and Department of information technology, Faculty of Computer and information technology, University of Science and technology "UST", Yemen. His research interests include Computer Aided Design (CAD), design web application, data mining through web.



Nashwan Ahmed Al-Majmar received his B.S. degree in Computer Systems Engineering and Informatics, in 2003, the M.S. degree in Computer Systems Engineering and Informatics, in 2006 from Saint-Petersburg Electro- technical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia, and the Ph.D. degree in methods and systems of information protection and security from Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia, in 2010. He is an assistant professor with Department of Mathematics and computer science, IBB University, IBB, Yemen and he is also working with CIT department at University of Science and Technology "UST", IBB branch, Yemen. His research interests include "information protection and security", "software development" and "AI applications".

La chaîne volcanique du Moyen Atlas au Maroc: Patrimoine géologique encore peu connu

[The volcanic chain of the Middle Atlas in Morocco: Geologic heritage Still little known]

Aâtika EDDIF¹, Hassane OUAZZANI², Idris SADKAOU¹, Amina TAJDI¹, Ahmed AGHBAL¹, and Ahmed HAMID¹

¹Laboratoire de recherche scientifique et développement pédagogique, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation El Menzeh, B.P255, Bel Air Meknès, Maroc

²Faculté des Sciences Meknès, Département de Géologie, B.P11201 Zitoune, Meknès, Maroc

Copyright © 2018 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 Middle Atlas, like all the structural domains of Morocco, is full of geosites of varying size and nature ranging from the microscopic scale to the scale of the outcrop. These rich geologic heritage offer high potential for scientific, pedagogical, and recreational, scenic, cultural, economic and geotouristic uses within the framework of sustainable development. This work has for objective to identify the conceptions of Moroccan students in the second year of secondary college and of futures teachers of Life and Earth Sciences (SVT) at the regional center for the trades of education and training (CRMEF - Meknes) about the presence of volcanoes in Morocco, Especially the volcanoes of the Middle Atlas which are articulated in the turns of the concept "geosite". The used methodology is based on a questionnaire addressed to the target population earth in Meknes and sale cities. The results of our study show that this heritage are not known to the interviewees. This article aims to : Highlight the volcanic chain of the Middle Atlas, Present the results of this study, and try to identify recommendations on the way forward as well as by education and sensibilization and other important means.

KEYWORDS: Concept, geologic heritage, geosite, pedagogy, geotourism, sensibilization, volcanic chain, sustainable development, Science of Life and Earth.

RESUME: Le Moyen Atlas à l'instar de tous les domaines structuraux du Maroc regorge des géosites de nature et de dimension variable allant de l'échelle microscopique à l'échelle de l'affleurement. Ces géosites à valeur patrimoniale offrent un potentiel élevé pour des usages scientifiques, pédagogiques par excellence mais aussi récréatifs, scéniques, culturels, économiques et géotouristiques dans le cadre du développement durable. Cependant, ils ne sont pas reconnus au niveau législatif et restent inconnus du grand public ; ceci les expose à des menaces grandissantes qui pèsent sur leur préservation. Le présent travail, se réfère à la chaîne volcanique du Moyen Atlas. En s'appuyant sur des enquêtes menées au cours des années 2013/2014 et 2014/2015 sous forme d'un questionnaire distribué auprès de 232 apprenants de la 2^{ème} année du cycle secondaire collégial, répartis sur six classes dans six collèges publics situés dans les délégations provinciales de l'éducation de Meknès et de Salé (Maroc), et 26 futurs enseignants des Sciences de la Vie et de Terre (SVT) au centre régional des métiers de l'éducation et de la formation (CRMEF - Meknès). Les résultats de la recherche ont montré que les volcans du Moyen Atlas qui s'articulent au tours du concept "géosite" sont méconnus auprès des interrogés. Cet article se propose de : Mettre en exergue la chaîne volcanique du Moyen Atlas, Présenter les résultats de l'enquête auprès des apprenants et des futurs enseignants, Proposer quelques recommandations enrichissant ainsi la réflexion sur les moyens permettant d'envisager des moyens susceptibles de faire connaître et partager au grand public ce patrimoine géologique afin de sensibiliser à sa conservation à des fins pédagogiques, scientifiques, écotouristiques,....

MOTS-CLEFS: Concept patrimoine géologique, géosite pédagogie, géotourisme, sensibilisation, chaîne volcanique, développement durable, Science de la Vie et de la Terre.

1 INTRODUCTION

Le Maroc se situe à la pointe nord-ouest du continent africain. Son histoire géologique se succède depuis le Précambrien jusqu' à l'Alpin. De telle histoire procure une remarquable variété des domaines structuraux. On y distingue en allant du Nord au Sud : le domaine rifain, le domaine mésétien, le domaine atlasique et le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien façonné par les orogénèses précambriennes et varisque. Par contre le domaine rifain et atlasique et celui de la Meseta se caractérisent respectivement par l'empreinte des orogénèses alpine et varisque. [1], [2], [3] (Figure 1).

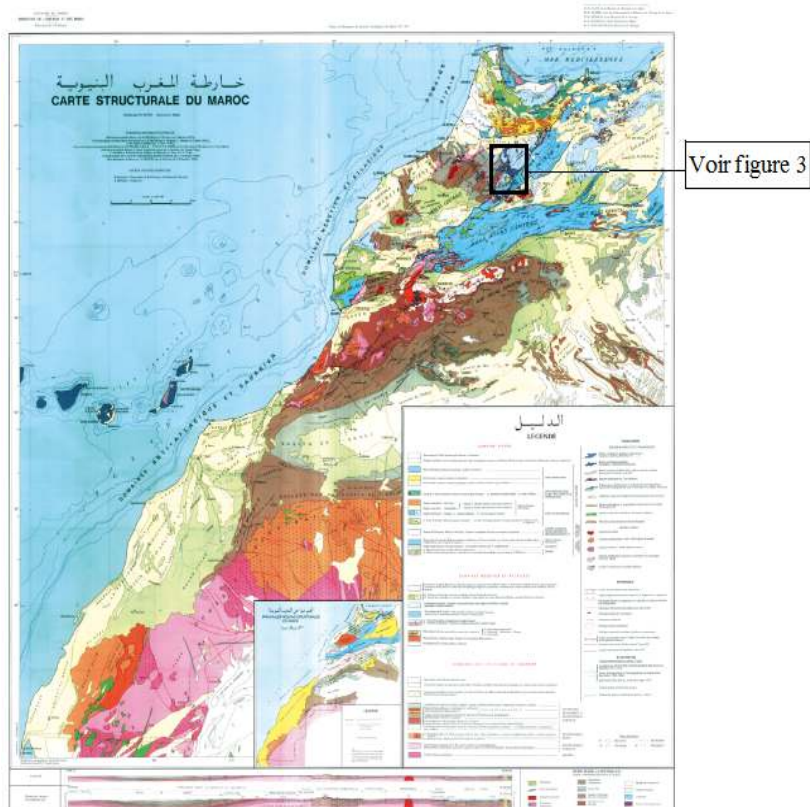


Fig. 1. Domaines structuraux du Maroc

Cette partie nord de l'Afrique (Maroc) a connu plusieurs éruptions volcaniques dont certaines sont soit d'âge précambrien (exemple : les volcans de Siroua et de Boho dans l'Anti-Atlas), soit appartiennent au Trias, tandis que d'autres sont d'âge Tertiaire ou Quaternaire (exemple : le volcan Saghro dans l'Anti-Atlas [4], le volcan de Gourogu dans le domaine rifain, et les volcans de Hebri, Habri, ... de la chaîne volcanique dans le domaine du Moyen Atlas) (Figure 2). L'ensemble de ces volcans associé à d'autres sites, géologiques identifiés à partir d'un certain nombre d'éléments de base (reliefs, fossiles, minéraux, roches,...), constitue un patrimoine riche et diversifié méritant d'être mis en valeur et protégé.

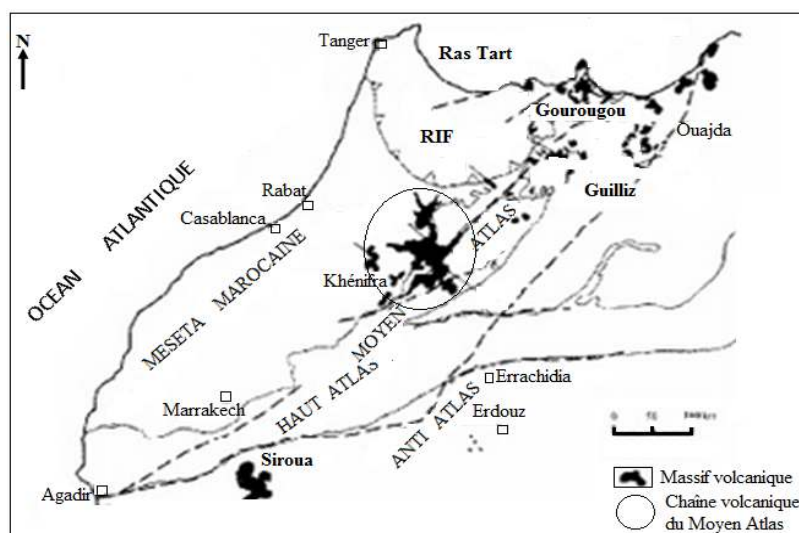


Fig. 2. Distribution du volcanisme néogène et quaternaire du Maroc [5]

Qu'entend-on par «patrimoine»? le concept de patrimoine est bien intégré dans le vocabulaire commun, il est défini par [6] comme étant "l'héritage du passé dont nous profitons aujourd'hui et que nous transmettons aux générations à venir". Plus récemment, ce concept est utilisé d'une façon beaucoup plus holistique pour établir le lien avec d'autres concepts. Ainsi la littérature a permis d'offrir plusieurs concepts entre autres :

Le «patrimoine géologique» qui selon [7] "a ses racines au sein de la protection de la nature, et en particulier dans les réserves naturelles de France (RNF) depuis (1985)".

Pour La référence [8] [9] le patrimoine géologique désigne « tous les témoins de l'histoire de la Terre qui participent de la connaissance des événements physiques et biologiques qui ont marqué notre planète ». Dans la même optique [10] le définit comme étant "tous les objets et sites qui symbolisent la mémoire de la Terre, de l'échelle de l'échantillon à l'échelle des paysages.

«Géosite» peut être réservé à des sites d'intérêt géologique sensu lato à l'échelle kilométrique ou celle du paysage. on trouve aussi «géodiversité» [11], «géopatrimoine» [12], [13], [14], [15] et «géomorphosite» ou «patrimoine géomorphologique» est un concept récent qui a été introduit par [16] et repris par [17], [18], [19], [20], [15] : il désigne l'ensemble des formes du relief -de l'échelle des microformes à celle des reliefs majeurs- qu'une société considère comme digne d'être conservé et transmis aux générations futures. [21] d'après [22].

Dans cette perspective, cette étude s'inscrit dans le cadre du patrimoine géologique marocain relatif aux volcans, particulièrement ceux du Moyen Atlas. L'intérêt que nous portons à ce concept découle de deux raisons principales : d'une part, l'existence de profondes lacunes dans les connaissances de la majorité des futurs enseignants des SVT du CRMEF Meknès et de leurs futurs apprenants relatives à l'existence de volcans éteints au Maroc entre autres "la chaîne volcanique du Moyen Atlas [23], [24] d'autre part, la nécessité de valoriser et de sensibiliser le grand public y compris notre population-cible, à la présence de ces volcans mal connus en vue de leur conservation de toute dégradation.

Trois questions de recherche découlent de cette problématique : Quelles sont les spécificités de la chaîne volcanique moyen atlasique? Quelles conceptions relatives à l'existence de volcans au Maroc ont les futurs enseignants des SVT et les apprenants du cycle secondaire collégial? Comment améliorer la connaissance de ce patrimoine?

Pour répondre à ces questions, ce travail s'articule autour de trois objectifs principaux : **1.** Présenter certaines caractéristiques de la chaîne volcanique du Moyen Atlas, **2.** Identifier les conceptions relatives à l'existence de volcans éteints au Maroc à la fois chez les futurs enseignants des SVT et des apprenants du cycle secondaire collégial, **3.** Proposer quelques moyens susceptibles de faire connaître et partager au grand public ce patrimoine afin de sensibiliser à sa conservation à des fins pédagogiques, scientifiques, écotouristiques dans le cadre du développement durable régional et national, ...

Il faut souligner d'emblée qu'au Maroc, le concept volcan (ou volcanisme) figure dans les programmes des classes : de 2^{ème} année du cycle secondaire collégial, de 2^{ème} du cycle secondaire qualifiant dans l'unité de la tectonique des plaques, voire aussi à l'université.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Pour cette recherche, l'étude est limitée à La chaîne volcanique du domaine Moyen Atlas. Ce dernier est subdivisé par les auteurs en deux domaines : le Causse moyen atlasique au nord-ouest (NW) et le Moyen Atlas plissé au sud-est (SE) qui sont séparés par l'accident nord moyen atlasique (ANMA) orienté NE-SW. Il s'agit d'un ensemble d'une centaine de volcans dénombrés et cartographiés s'étirant selon une direction méridienne N170 [25]. Elle s'étend sur près de 120 km ; entre El Hajeb et Itzer (Figure 3). Ces volcans qui constituent un véritable laboratoire volcanologique remarquable à ciel ouvert! ont fait l'objet d'études pétrographiques, géochimiques, radiochronologiques, et didactiques [25], [26] [27], [28], [29], [30], [31], [5], [32], [33], [34], [35], [36] [37], [23], [24].

Il est noté que, les volcans éteints au Maroc sont relativement abondants dans les différents domaines structuraux du Maroc comme signalé ci-dessus, en particulier ceux du Moyen Atlas qui constituent un laboratoire volcanologique naturel à ciel ouvert d'une richesse insoupçonnée et d'une relative proximité en raison des courtes distances à parcourir d'un volcan à l'autre de la chaîne ; ce qui offrent des opportunités pour le développement du géotourisme et un véritable terrain d'apprentissage pour les apprenants de tous niveaux de classe.

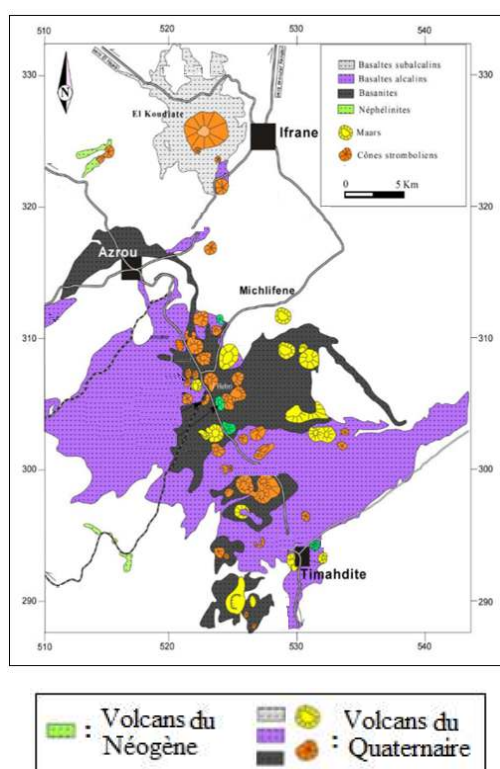


Fig. 3. Carte pétrographique des différentes unités volcaniques du Moyen Atlas [33]

Dans l'ensemble, l'intérêt géologique de cette chaîne volcanique est basé sur la présence de nombreux volcans associés à des produits volcaniques de nature différente et sous des formes et à des échelles variées (Cendres, bombes, lapilli, ponces...) (Annexe I). D'autre part, certains produits volcaniques de types basaltiques sont parsemés d'enclaves de péridotite remontées en surface par le magma lors des éruptions volcaniques. Ainsi, on distingue plusieurs types d'édifices volcaniques (Figure 4) [25].

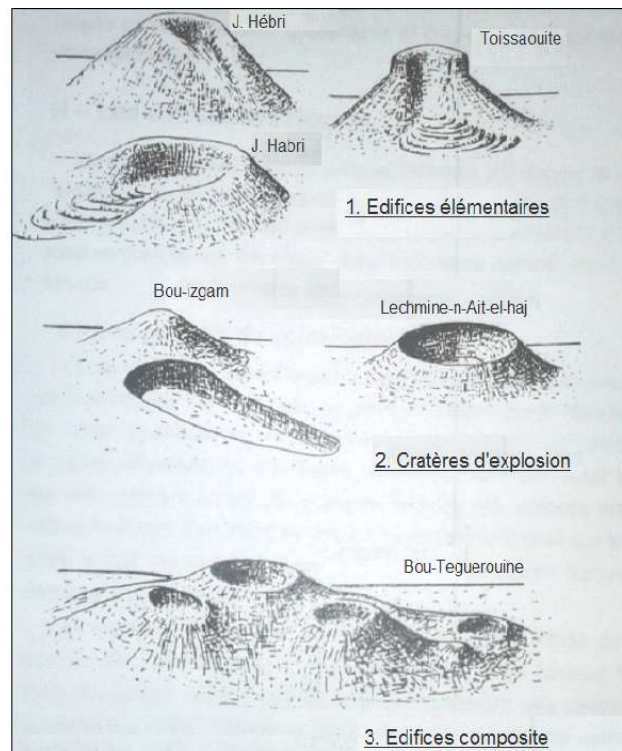


Fig. 4. Schéma des types de volcans du plateau d'Azrou [25]

2.1 EDIFICES ELIMENTAIRES

- Les volcans à cratères, Ils présentent des cratères soit ouverts ou égueulés (Figure 5), soit fermés.



Fig. 5. Vue du volcan Hebri avec cône égueulé sur son flan sud (photo et capture d'écran Google Earth)

- Les volcans à cône simples sans cratère au sommet ou dans l'entourage immédiat (Figure 6).

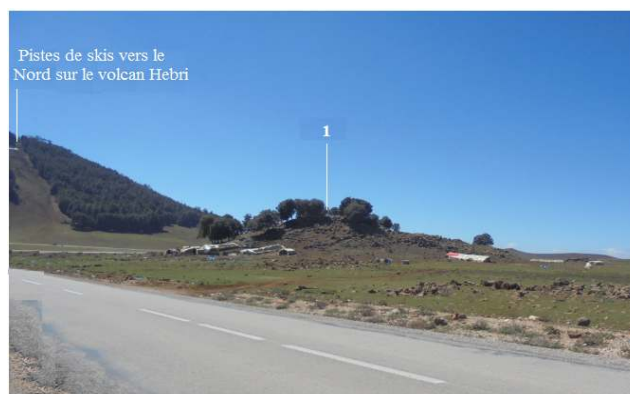


Fig. 6. *Vue panoramique d'un volcan à cône simples sans cratère au Nord du volcan Hebri*

- **Édifices composites**, les édifices volcaniques peuvent être regroupés constituant des "édifices composites" dont le Bou-Teguerrouine illustre le meilleur exemple sur le plateau d'Azrou. Il est formé par le regroupement d'environ huit cratères de dimensions variables (Figure 7).



Fig. 7. *Vue de l'édifice composite Bou-Teguerrouine (image Google Earth)*

2.2 MAARS OU CRATÈRES D'EXPLOSION

Les maars sont caractérisés par l'ampleur de la cavité centrale. Nous citons, à titre d'exemples, la maar de Michlifene et celle de Lechmine Lkettane.

- le maar de Michlifene mesure environ 800 m de diamètre pour une profondeur de 70 m à 130 m (Figure 8), alors que celui de Lechmine Lkettane se présente sous forme d'une grande cavité presque parfaitement circulaire qui fait 1,2 km de diamètre pour 90 m de profondeur. (Figure 9).



Fig. 8. Vue panoramique de Maar Michlifène



Fig. 9. Vue Lechmine Lkettane(photo et capture d'écran Google Earth)

Ces différentes caractéristiques géologiques associées à d'autres, font de la chaîne volcanique du Moyen Atlas une multiplicité des géosites "patrimoine géologique" qui mérite d'être reconnu afin qu'il soit protégé pour répondre aux besoins de tous chacun dans son domaine.

3 MATERIEL ET METHODES

Pour atteindre nos objectifs, plusieurs méthodes ont servi à l'acquisition et à l'exploitation des données. Des sorties géologiques pour prendre en photos certains volcans et produits volcaniques comme présentés ci-dessus et en Annexe I. La collecte des conceptions de la population cible par l'administration d'un questionnaire. Par la suite l'analyse et traitement des données recueillies au moyen du questionnaire avec Microsoft Office Excel. Des discussions avec les futurs enseignants ont été organisées afin de compléter les informations obtenues à partir du questionnaire de l'enquête.

3.1 PRÉSENTATION DE LA POPULATION CIBLE

La population ciblée par notre étude est constituée de 232 apprenants de la deuxième année du cycle secondaire collégial, répartis sur six classes dans six collèges publics situés dans les délégations provinciales de l'éducation de Meknès et de Salé (Maroc) et de 26 futurs enseignants des SVT au CRMEF Meknès. Les Tableaux 1 et 2 regroupent quelques caractéristiques de la population cible.

Tableau 1. Quelques caractéristiques de la population cible (apprenants)

Population cible	Nombre	Age	Niveau d'étude	Etablissements	Villes
apprenants	232	12 à 14 ans	2 ^{ème} année du cycle secondaire collégial	3 collèges	Meknès
				3 collèges	Salé

Tableau 2. Quelques caractéristiques de la population cible (futurs enseignants)

Population cible	Nombre	Age	Niveau d'étude	Options à la Licence	Etablissement	Ville
futurs enseignants	26	22 à 30 ans	Licence et Master	18 biologistes	CRMEF Meknès	Meknès
				8 géologues		

3.2 INSTRUMENT DE RECUEIL DES DONNEES

Pour la collecte des réponses nous avons eu recours au questionnaire individuel distribué à l'ensemble de la population cible en 2014/2015 avant l'enseignement du concept volcan en classe. Compte tenu de l'arabisation des SVT dans l'enseignement secondaire collégial, le questionnaire mis à la disposition de l'ensemble des enquêtés a été rédigé en langue

arabe. Ce questionnaire est composé au total de quatre questions en plus des informations concernant quelques caractéristiques de la population cible, telles que l'âge, le niveau scolaire... (voir tableaux ci-dessus).

les questions sont destinées à émerger les conceptions relatives de la population cible à définir un volcan par écrit et par dessin, à expliquer comment se forme un volcan, à préciser l'origine du magma des volcans et à exprimer leur accord ou désaccord avec la proposition suivante «y'a-t-il des volcans au Maroc ? » en justifiant la réponse.

Notons que dans ce travail, on va s'intéresser tout particulièrement à cette dernière question, puisqu'elle est en accord avec la problématique et objectifs de ce travail.

4 RÉSULTATS

Autour de la question «y'a-t-il des volcans au Maroc ? » justifiez votre réponse. Nous avons fait le décompte des réponses et les avons calculées en pourcentages. Les résultats sont en effet représentés à la fois par un tableau et un camembert ou un graphe.

Tableau 3. *Pourcentage des différents types de réponses sur les conceptions relatives à l'existence de volcans éteints au Maroc chez les apprenants*

Types de réponses	Sans réponse	"oui" non justifiée	Total
Nombre de réponses	186	46	232
Pourcentage %	80	20	100

La plupart des élèves n'ont pas répondu à cette question à environ 80 % contre 22 % qui ont répondu positivement mais sans pouvoir justifier leurs réponses. (Figure 10)

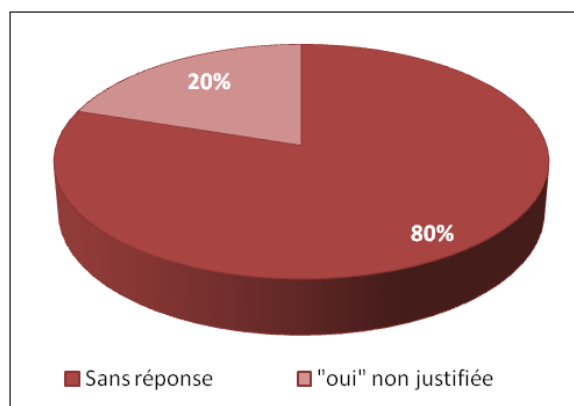


Fig. 10. *Conceptions des apprenants relatives à l'existence de volcans au Maroc*

Du point de vue des enseignants, les résultats collectés sont résumés ci-dessous (Tableau 4) et (Figure 11).

Tableau 4. *Pourcentage des différents types de réponses sur les conceptions relatives à l'existence de volcans éteints au Maroc chez les futurs enseignants d'option biologie et géologie*

Types de réponses	Sans réponse	"oui" non justifiée	"Oui" justifiée	non	Je ne sais pas	Total
Nombre des réponses des futurs enseignants biologistes	6	7	0	5	0	18
Pourcentage %	23	27	0	19	0	69
Nombre des réponses des futurs enseignants géologues	1	3	3	0	1	8
Pourcentage %	4	11	11	0	4	30

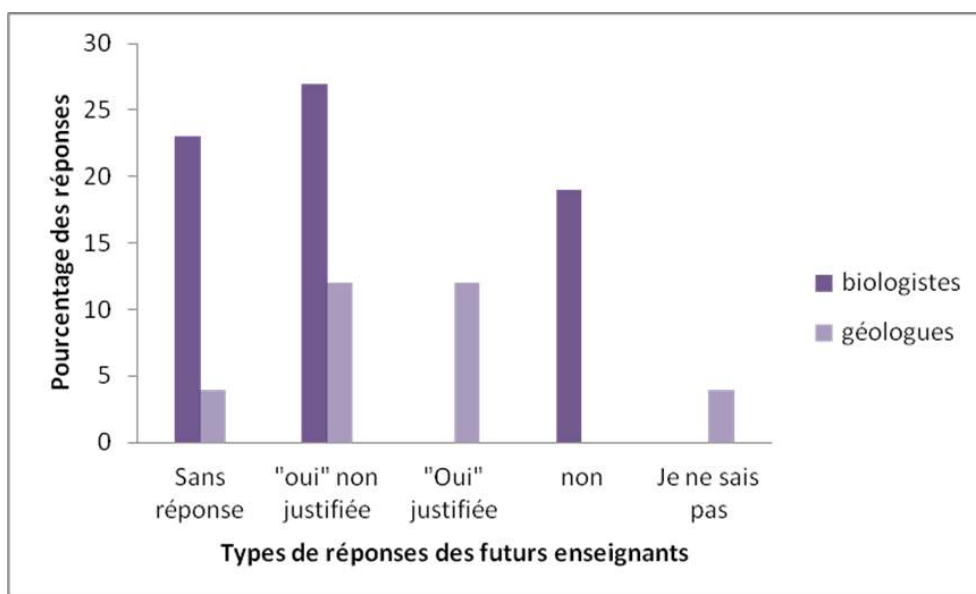


Fig. 11. Conceptions des futurs enseignants des SVT relatives à l'existence de volcans au Maroc

En effet, l'étude sur les conceptions relatives à l'existence de volcans au Maroc auprès de nos enquêtés a montré entre autres que : la majorité des futurs enseignants aussi bien les biologistes que les géologues sont inconscients de l'existence de volcans éteints au Maroc entre autres les volcans du Moyen Atlas vu que :

- 23% biologistes contre 4% géologues n'ont pas donné de réponse, alors que 19% biologistes ont répondu par "non" et 4% géologues ont répondu par "je ne sais pas".
- 27 % des enseignants d'option biologie contre 11% des enseignants d'option géologie ont répondu positivement à la question bien que leur réponse était incomplète puisqu'ils n'ont pas pu la justifier.

Cependant seule 11% géologues ont arrivé à répondre juste et ont été en mesure de justifier leurs réponses en donnant l'exemple d'un volcan de la région de Timahdit au Moyen Atlas.

5 DISCUSSION

Dans le but d'émerger les conceptions des apprenants du cycle secondaire collégial et des futurs enseignants des SVT, on a eu recours au questionnaire individuel. L'analyse et le traitement des données collectées attestent que : la plupart des interrogés sont inconscients de l'existence de volcans éteints au Maroc plus particulièrement, ceux du Moyen Atlas. Ces résultats corrént avec ceux rapportés dans la littérature [22], [23].

Il est à noter que seule 20 % des apprenants de notre enquête étaient capables de répondre positivement mais, sans pouvoir justifier leur réponse. Nous ne pouvons, d'un point de vue didactique interpréter ces réponses que comme une absence du concept « volcans éteints au Maroc » dans le vocabulaire de ces apprenants de 12-14 ans qui n'avaient étudié auparavant les volcans. Plus encore ces réponses peuvent être liées à des facteurs pédagogiques : d'un côté, l'absence de cette chaîne volcanique dans les manuels scolaires en usage au cycle secondaire ; d'un autre côté, les enseignants exerçants à ce cycle se limitent dans la transposition didactique du concept volcan à des exemples autre que marocains contenues dans de tels manuels.

Quant aux connaissances des futurs enseignants sur les volcans marocains, les résultats ont montré qu'un petit nombre (3 futurs enseignants d'option géologie en Licence soit 11%) est arrivé à répondre. Ceci peut trouver son origine dans des facteurs externes notamment, un parcours universitaire antérieur pluridisciplinaire (Géologie, Biologie Animale ou Végétale, Technologie alimentaire, Ecologie...) dans des universités différentes. Plus encore, d'après l'entretien avec nos enquêtés, il apparaît que les volcans marocains ne sont pas suffisamment approfondie dans l'enseignement universitaire marocain de certaines universités (étude en cours) : En effet, les 11% cités ci-dessus ont participé à une sortie géologique en lien avec certains volcans du Moyen Atlas (région de Timahdit). Alors que les 5 autres futurs enseignants d'option géologie soit 19% n'ont jamais entendu parlé de tels volcans. En suite des facteurs plus internes impliquant le manque d'efforts déployés par les enquêtés en recherche et en autoformation.

Notons, par ailleurs, qu'on retrouve les mêmes conceptions relatives à l'existence de volcans éteints au Maroc aussi bien chez les apprenants (du collège à l'université), que chez les futurs enseignants et quelques enseignants exerçant des SVT comme le montre les résultats de cette étude et nos travaux antérieurs [23], [24].

6 CONCLUSION

Cet article, décrit les conceptions personnelles particulières que se font donc les apprenants et les futurs enseignants sur la présence de volcans éteints au Maroc et présente le résultat d'une étude préliminaire faite sur la chaîne volcanique du Moyen Atlas qui constitue un patrimoine géologique riche et varié où se concentre une centaine de structures volcaniques variables "géosites" offrant diverses opportunités :

- pédagogique, scientifique par excellence dont la mesure où ces volcans peuvent constituer un atout permettant aux apprenants de mener en pratique tous les aspects théoriques reçus en classes,
- touristique, écologique, économique,...etc. "

Cependant, ce potentiel patrimonial et insuffisamment connu auprès des apprenants du cycle secondaire et des futurs enseignants des SVT du CRMEF de Meknès. Malheureusement, ce constat est observé aussi bien chez des apprenants à différents niveaux d'enseignement (du collège à l'université) que chez certains enseignants exerçants et par conséquent le niveau scolaire ne se traduit pas par une différence dans les conceptions relatives à l'existence de volcans éteints au Maroc (étude en cours).

Ceci peut trouver son explication par différents facteurs dits externes et internes. Les facteurs externes sont liés à un défaut de communication entre concepteurs de manuels scolaires et universitaires et par conséquent, cette chaîne volcanique ne figurent dans aucun manuel scolaire, bien que les travaux universitaires sur cette chaîne sont nombreux comme signalé ci-dessus, d'autres sont dus, est ce que le contenu proposé pour l'enseignement des volcans du Moyen Atlas au niveau des Universités marocaines reste rare et peu traité. Les facteurs internes sont liés à une transposition didactique au cycle secondaire, du concept volcan concentrée sur le contenu des manuels scolaires, et à un manque d'efforts déployés par les enquêtés en recherche et en autoformation. Pour cela ils restent encore beaucoup d'efforts à faire.

Ce n'est donc pas sans ignorer tout ce qui a été dit précédemment que nous proposons maintenant quelques pistes possibles pour rendre célèbre ces volcans. Dans ce sens, il apparaît nécessaire :

- de connaître les conceptions des apprenants et futurs enseignants. De telle connaissance constitue un outil indispensable aussi bien pour l'enseignant qui pourra mettre en place une pédagogie adaptée aux besoins de ses interrogés que pour les interrogés qui intégreront beaucoup plus facilement et durablement le nouveau savoir.
- d'instaurer une éducation et un enseignement autour du patrimoine géologique volcanique marocain sous ses volets fondamental et pratique.
- d'intégrer la chaîne volcanique du Moyen Atlas dans différents manuels scolaires,
- d'agir au niveau de la formation professionnelle des futurs enseignants et de la formation continue des enseignants exerçants des SVT pour leur offrir l'occasion de connaître les volcans marocains.
- d'articuler entre les résultats de la recherche des universitaires de différentes disciplines (géologues, géographes, écologistes,...), des décideurs soucieux de produire des manuels scolaires de qualité ; les enseignants, les didacticiens, ...etc, le tout appuyée par la participation et le soutien de l'état (les Ministères, conseils élus, provinces...) afin d'établir le niveau des intérêts de ce patrimoine géologique à la fois pédagogiques, scientifiques et touristiques...

Pour terminer ces quelques pistes et pour élargir encore l'éventail des possibilités, il nous semble intéressant de :

- valoriser, de sensibiliser le grand public y compris les habitants des douars près de ces volcans, les apprenants tous cycles confondus, les enseignants, les décideurs de programmes, les responsables locaux et régionaux, collectivités territoriales...à la présence de ces volcans en vue de la conservation de ce patrimoine de toute dégradation et sa participation au développement local et national dans le cadre de la mise en valeur géotouristique de ce patrimoine géologique.
- rendre accessibles ces volcans au plus grand nombre de visiteurs selon leur type (Scientifiques, apprenants tous cycles compris, touristes...) par le biais des aménagements pour la visite, des sentiers, des panneaux indicatifs au niveau des différents voies menant à ces volcans, des cartes, des brochures, des expositions, des dépliants publicitaires, des conférences, un site web contenant des cartographies et des fiches sur ces volcans. Avec le besoin d'évaluer les impacts de la fréquentation sur l'ensemble des géosites en tant qu'écosystèmes fragiles.
- le soutien médiatique par le biais des publications de vulgarisation (presse écrite nationale), des conférences grand public pour que ce patrimoine géologique volcanique puisse franchir la sphère du discours spécialisé.

- lancer et de réaliser un inventaire national du patrimoine géologique marocain sur la base de critères standards définis au préalable, et de l'intégrer dans les manuels scolaires pour tenter de refléter sa diversité et sa richesse; dans le but de renforcer les connaissances sur ce patrimoine pour le valoriser, le gérer, le préserver et l'aménager durablement et l'évaluer au fil du temps.

D'autres recherches sont nécessaires pour comprendre comment les apprenants marocains construisent un savoir sur les volcans et montrer aussi comment les cours de géologie peuvent transformer leurs conceptions encore floues sur les volcans éteints marocains, et surtout montrer que la chaîne volcanique du Moyen Atlas est un patrimoine à intérêts multiples.

REFERENCES

- [1] A. Piqué, A. Soulaïmani, E. Laville, Amrhar, Bouabdelli, Hoepffner, Chalouan, *Géologie du Maroc*, Ed Pumag. Marrakech, Maroc, 284 p, 2007.
- [2] Piqué, *Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale*, Ed Pumag. Marrakech, Maroc, 284 p, 1994.
- [3] Michard, "Elément de géologie marocaine," *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, 1976.
- [4] Ibhi A Le Volcanisme Plio-Quaternaire de Saghro (Anti-Atlas, Maroc). Editions universitaires européennes EUE, 2011, 192p.
- [5] M. El Azouzi, J. Bernard Griffiths, H. Bellon, C. R. Maury, A. Piqué, S. Fourcade, J. Cotton, and J. Hernandez, "Evolution des sources du volcanisme marocain au cours du Néogène. *C.R.Acad. Sci. Paris* 329, pp. 95-102, 1999.
- [6] UNESCO, 1972 [Online] Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel : <http://whc.unesco.org/archive/convention-fr.pdf>, (Novembre 16, 1972).
- [7] Jonin, Communication aux 5èmes journées nationales du patrimoine géologique de Caen 15-18 octobre. [En ligne] <https://sgmb.univ-rennes1.fr/patrimoine-geologique/definition> (2013).
- [8] P. Billet, "La protection du patrimoine géologique", *Guide juridique, Cahiers techniques de l'ATEN*, 76, 148 p, 2002.
- [9] De Wever, Un inventaire du patrimoine géologique pour la France, *La Lettre de l'OCIM*. [En ligne], 121 : <http://ocim.revues.org/267> (2009).
- [10] BRGM, Inventaire du patrimoine géologique du Languedoc-Roussillon.[En ligne], <http://www.brgm.fr/projet/inventaire-patrimoine-geologique-languedoc-roussillon> (2013)
- [11] Gray, *Geodiversity : Valuing and Conserving Abiotic Nature*, 2nd Edition. Wiley-Blackwell, Chichester, 508 p, 2013.
- [12] M. Panizza, "Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey," *Chinese Science Bulletin*, 46, Suppl. Bd, pp. 4-6, 2001.
- [13] Reynard, Coratza, and Regolini-Bissig, *Geomorphosites*, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 240 p, 2009.
- [14] E. Reynard and M. Panizza, "Géomorphosites : définition, évaluation et cartographie. Une introduction," *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3, pp. 177-180, 2005.
- [15] C. Giusti, "Les géosites d'intérêt géomorphologique ou géomorphosites dans l'inventaire du géopatrimoine," *Actes du colloque « Géopatrimoine, un lustre d'inventaire en France »*. 10-12 octobre 2012, Digne-les-Bains, *Mém. H.S. Soc. Géol. Fr.*, 13, pp. 22-29, 2013.
- [16] M. Panizza, "Geomorphosites : concepts, methods and example of geomorphological survey," *Chinese Science Bulletin*, 46, Suppl. Bd, pp. 4-6, 2001.
- [17] P. Pereira, D.I. Pereira, Alves M.I and J.B. Caetano Brilha, "Geology, landscape and geomorphology: finding the place of geomorphological heritage," *IV International Symposium Pro geo on the Conservation of the Geological Heritage*, Abstracts. Vol, Braga, University of Minho, Earth Science Centre, p. 10, 2005.
- [18] E. Reynard, "Scientific research and tourist promotion of geomorphological heritage," *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, 31, pp. 225-230, 2008.
- [19] D. Sellier, "La vulgarisation du patrimoine géomorphologique : objets, moyens et perspectives," *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 86, 1, pp. 67-81, 2009.
- [20] C. Portal, "Reliefs et patrimoine géomorphologique. Applications aux parcs naturels de la façade atlantique européenne", Thèse de doctorat, université de Nantes, 436 p, 2010.
- [21] André, M.F., Ambert, M., Delannoy, J. J, Hobléa, F. and Reynard, E., *Géomorphologie et patrimoine*, dans D. Mercier (dir.) *Géomorphologie de la France*, Dunod, Paris, pp. 201-214, 2013.
- [22] Bétard, *Protection et valorisation du patrimoine géomorphologique en Île-de-France (Bassin de Paris, France*, 2015. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol 15, n° 1. [Online] <http://vertigo.revues.org/16115> (juin 7 2016).
- [23] A. Eddif, S. Selmaoui, T. Abboudi, B. Agorram and S. Khzami "Conceptions d'élèves marocains de la deuxième année secondaire collégiale relatives aux volcans", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 20 n°2, pp. 413-427, 2016.

- [24] A. Eddif, S. Selmaoui, H. Ouazzani, "Les volcans : quelles conceptions des futurs enseignants marocains des Sciences de la Vie et de la Terre?," *Revue le pédagogue*, Vol. 1, n° 3/4 pp. 63-77, 2016.
- [25] J. Martin, "Le Moyen Atlas central. Etude géomorphologique," *Notes et Mém. Ser. Géol. Maroc* n° 258, et 258 bis, 445p, 1981.
- [26] A. Moukadiri, *Les enclaves ultrabasiques associés aux basaltes alcalins dans le district volcanique d'Azrou Timahdit (Moyen Atlas Maroc)*, Thèse de 3e cycle. Université de Clermont-Ferrand II, 150.p, 1983.
- [27] C. Harmand and J.M. Cantagrel, "Le volcanisme alcalin tertiaire et quaternaire du Moyen atlas (Maroc): chronologie K/Ar et cadre géodynamique", *J. Afric. EarthSci*, vol 2, pp. 51-55, 1984.
- [28] C. Harmand and A. Moukadiri, "Synchronisme entre tectonique compressive et volcanisme alcalin: exemple de la province quaternaire du Moyen Atlas (Maroc)," *B.S.G.F.*, 8, t.II, pp. 595-603, 1986.
- [29] H. N. Rachidi, "Etude du volcanisme plio-quaternaire du Maroc Central : pétrologie, géochimie et minéralogie. Comparaison avec des laves types du Moyen Atlas et du Rekkam (Maroc)," *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 381, 157 p, 1995.
- [30] J.M. Morel and H. Bellon, "Le Volcanisme quaternaire du plateau d'Azrou, Maroc. Contribution à la datation isotopique des magmas associés," *13^{ème} Colloque des bassins sédimentaires marocanis*, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 19-22 Mars, p 113. 1996.
- [31] D. El Azzab and M. Wartiti, "Mise en place de la chaîne volcanique du moyen Atlas (Maroc) : Traitement des données aeromagnetiques," *Pangea*, n°29/30, pp.45-51, 1998.
- [32] Y. Missenard, *Le relief des Atlas Marocains: contribution des processus asthénosphériques et du raccourcissement crustal, aspects chronologiques*. Thèse d'Etat, Université, Cergy- Pontoise, 2006.
- [33] M. EL Azzouzi, R. C. Maury, H. Bellon, N. Youbi, J Cotton and F. Khrebouch "Petrology and K-Ar chronology of the Neogene-Quaternary Middle Atlasbasaltic province, Morocco," *Bull. Soc. géol. Fr*, t. 181, no 3, pp. 243-257, 2010.
- [34] A. Charrière, D. Ouarhache and H. El-Arabi, "Moyen Atlas. nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc," *Notes et Mém*, Maroc n°559, Vol 4, 2011.
- [35] El Amrani, Furstoss, Rodot, *Comprendre le volcanisme à travers l'exemple du Moyen-Atlas*. Livret de sortie, AEFE – SVT, Zone Maroc SVT 022, 2014.
- [36] M. El Wartiti, A. Malaki, N. El Mahmoudi, R. Azelmad, R. Sadki, and S. Berred, "Les géomorphosites du causse moyen atlasique marocain : un circuit géotouristique à développer," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 18 no. 3, pp. 773-783, 2016.
- [37] D. Sadkaoui, *Etude géomorpho-structurale de la région d'Ifrane-Guigou (Moyen Atlas, Maroc)*. Thèse, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, FST, Fès, 207 p, 2016.

ANNEXE I : DIFFÉRENTS TYPES DE BOMBES DE LA CHAÎNE VOLCANIQUE DU MOYEN ATLAS

Bombe ronde



Bombe en bouse de vache

Bombe fusiforme



Bombe en chou-fleur

**Etude d'impacts environnementaux des décharges publiques non contrôlées,
par l'expression des descripteurs du système de management intégré,
Qualité-Sécurité-Environnement:
Cas de la décharge publique de la ville de Taza (Maroc)**

**[Environmental impact study of the uncontrolled public landfills, by the expression of
the descriptors of the integrated management system, Quality-Safety-Environment:
The case of public landfill of Taza city (Morocco)]**

Abdelouahab ZALAGHI, Fatima LAMCHOURI, and Hamid TOUFIK

Laboratoire Matériaux, Substances Naturelles, Environnement et Modélisation (LMSNEM),
Faculté Polydisciplinaire de Taza, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès,
B.P.: 1223, Taza-Gare, Taza, Maroc

Copyright © 2018 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 Environmental Impact Assessment (EIA) for the landfilling of solid waste in uncontrolled landfills has become indispensable as these generate serious environmental problems; such as groundwater, surface water contamination and air pollution. Even in the case of controlled landfills, EIA can limit and control health and environmental risks. The impacts identified for the uncontrolled dump in the city of Taza, north-eastern Morocco, were identified and evaluated using Leopold's matrix (ML), completed and expressed based on the expression of the descriptors of SMI integrated management system to create the Integrated Leopold Matrix ML-I, it applies to a consistent and recordable evaluation of the importance of the different components. The framework elements included in the ML-I are: physical / chemical, biological and ecological, social, cultural and economic and operational. Analysis of ML-I results showed that minimum negative impacts will be achieved after closure and rehabilitation of the landfill. For the most serious negative impacts: the contamination of groundwater and surface water and air pollution, which represent a direct threat to public health, they can be mitigated through the application of SMI-QSE in the overall management of the site studied.

KEYWORDS: EIA, uncontrolled discharge, SMI-QSE, Leopold Matrix, Treatment, Pollution, Taza.

RÉSUMÉ: L'étude d'impacts environnementaux (EIE) pour la mise en décharge des déchets solides dans les décharges non contrôlées est devenue indispensable, puisque celles-ci génèrent des problèmes environnementaux graves; comme la contamination des eaux souterraines et superficielles et la pollution atmosphérique. Même pour le cas des décharges contrôlées, EIE permet de limiter et de maîtriser les risques sanitaires et environnementaux. Les impacts mis en évidence pour la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza, nord-est du Maroc ont été identifiés et évalués en utilisant la matrice de Léopold (ML), complétée et exprimée en se basant sur l'expression des descripteurs du système de management intégré SMI pour constituer la Matrice de Léopold Intégrée ML-I, elle s'applique à une évaluation cohérente et enregistrable de l'importance des différentes composantes. Les éléments de cadrage inclus dans la ML-I sont : physiques/chimiques, biologiques et écologiques, sociaux, culturels et économiques et opérationnels. L'analyse des résultats de la ML-I a montré que les impacts négatifs minimums seront obtenus après fermeture et réhabilitation du site d'enfouissement. Pour les plus graves impacts négatifs: la contamination de l'eau souterraine et superficielle et la pollution atmosphérique, qui représentent une menace directe pour la santé publique, ils peuvent être atténués grâce à l'application du SMI-QSE dans la gestion globale du site étudié.

MOTS-CLEFS: EIE, décharge non contrôlée, SMI-QSE, Matrice de Léopold, Traitement, Pollution, Taza.

1 PROBLÉMATIQUE

Au cours des deux dernières décennies, la question de la gestion des déchets est devenue un des principaux défis auxquels sont confrontées nos sociétés. Avec une tendance de consommation toujours plus grande et plus diversifiée [1], [2], la production de déchets ne cesse d'augmenter en quantité et en qualité engendrant ainsi d'énormes risques pour la santé publique et l'environnement. Cette situation est beaucoup plus préoccupante dans les pays en voie de développement à cause du manque de moyens et de la difficulté d'aborder la question avec une approche adaptée à leurs contextes.

Au Maroc, l'augmentation de la production de déchets et leurs proliférations dans l'espace urbain, constituent un véritable défi pour les responsables locaux. La conjonction de plusieurs facteurs, tels que l'accroissement démographique, l'expansion urbanistique, le développement des activités socio-économiques et les mutations des modes de vie et de consommation, engendrent un gisement de déchets de plus en plus grandissant [3]. Cette évolution a eu pour corollaire la multiplicité et l'intensité des effets négatifs sur la santé humaine et animale et l'environnement. Selon une étude menée par la banque mondiale, le coût de la dégradation environnementale due aux déchets solides était estimé à 0,5 % du produit intérieur brut (PIB) en 2003 (l'un des plus élevés de la région du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord). En effet, la production de déchets solides dans le pays s'élève à 6,5 millions de tonnes chaque année, ce qui correspond à 18 mille tonnes par jour [4].

En 2013, les taux de collecte urbaine et d'enfouissement sont respectivement de 80% et 37% et la quasi-totalité de ces déchets est acheminée vers des décharges sauvages sans aucun traitement préalable et sans aménagement des sites réceptacles. Ces décharges, exploitées de manière confuse et non appropriée constituent des menaces sérieuses pour l'environnement et la santé publique. Selon les statistiques du ministère chargé de l'environnement, on compte au Maroc plus de 300 décharges sauvages [5], [4], treize décharges contrôlées sont opérationnelles et traitent quelques 1 875 000 tonnes de déchets par an et plusieurs autres décharges contrôlées sont en phase d'étude ou en cours de réalisation [6].

Dans les décharges non contrôlées à ciel ouvert, la décomposition des déchets et l'apport d'eau en présence de l'air, produisent un lixiviat chargé de substances organiques et minérales générant ainsi, une pollution de type organique, azotée ou métallique. Ces lixiviats, en s'infiltrant dans le sous-sol, entraînent une forte dégradation des eaux souterraines. Par ailleurs, la multiplication des décharges non contrôlées contribue de façon négative à la pollution de l'air par les fumées issues de l'incinération spontanée des déchets solides. Ces fumées contiennent souvent d'importantes teneurs en polluants toxiques de différentes natures (métaux, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, oxydes d'azote, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Les polychlorobiphényles (PCB), dioxines et furanes) [7], [8], [9]. Ces polluants peuvent être inhalés, sous formes particulaire et gazeuse, et causer des affections respiratoires comme l'asthme, et peuvent aussi engendrer des réactions cutanées et des cancers [10], [11], [12].

Minimiser les risques sanitaires engendrés par ces décharges sauvages, maîtriser les sous-produits (Lixiviat, Biogaz, Envoles, Odeurs...) , respecter les contraintes environnementales, garantir les performances des installations de stockage et de traitement, restreindre les impacts des lixiviats sur les milieux naturels [13], [14], [15], [16], [17], en respectant à tout moment les réglementations et les législations en vigueur, sont les impératifs majeurs de toute réhabilitation d'un site de stockage des déchets solides ou pollués par ces derniers. Cette éventuelle réhabilitation commence toujours par une étude d'impact environnemental (EIE). Cette dernière donnera des résultats pertinents si elle est appropriée aux contextes locaux du site à réhabiliter.

La ville de Taza n'échappe pas aux menaces de la pollution qui prendrait de l'ampleur avec la mise en service de l'autoroute Fès-Oujda. Ces menaces s'accroissent avec l'emplacement actuel de la décharge, située sur un terrain plat, au niveau de la rive gauche de l'Oued Lârbâa. La décharge de Taza, comme la majorité des décharges marocaines, est un dépotoir sauvage, à ciel ouvert située non loin des zones urbaines à 1,5 km du centre de la ville. Elle reçoit les déchets de toutes catégories venant des différentes zones de la ville [18], [19]. Les déchets acheminés vers la décharge sont mélangés sans aucun tri à la source, on y trouve des déchets ménagers, hospitaliers et industriels avec une gravité variable. Une telle gestion a d'une part, un impact néfaste sur toutes les composantes environnementales de la région [20] et d'autre part, la décharge est le siège d'une incinération spontanée et permanente de quasi l'ensemble des déchets urbains. Cette combustion est maintenue par le méthane, provenant de la fermentation de la matière organique. Cette activité génère des fumées toxiques qui vont être entraînées par le vent à l'intérieur même de la ville de Taza (quartier El Malha) pouvant porter préjudice à la qualité de l'air.

Comme continuité de nos travaux antérieurs, sur la réhabilitation et le traitement des lixiviats de ce site [21], [19], ce présent travail vise, comme objectif principal, l'évaluation des impacts environnementaux (EIE) de la décharge publique de la ville de Taza. A cet effet, nous avons adopté, en absence d'un réseau de surveillance de cette décharge, pour une technique d'identification et d'évaluation basée sur la matrice de Léopold (ML) [22], complétée et exprimée par l'expression des descripteurs du système de management qualité sécurité environnement (SMI-QSE) pour constituer la Matrice de Léopold Intégrée ML-I, elle s'applique à une évaluation cohérente et enregistrable de l'importance des différentes composantes. Les

éléments de cadrage inclus dans la ML-I sont : physiques/chimiques, biologiques et écologiques, sociaux, culturels et économiques et opérationnels.

L'enjeu donc, est de préparer, ainsi que d'approprier les études avant-projet de la réhabilitation du site de Julien, surtout l'étude d'impacts sur l'environnement dans les meilleurs délais, afin d'arrêter d'urgence la contamination de l'oued Lârbâa pendant cette phase de fin d'exploitation et d'éviter le dépassement par rapport aux côtes finales fixées pour la fin d'exploitation et la réhabilitation de celle-ci.

2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.1 PRÉSENTATION DU MILIEU D'ÉTUDE

Le territoire de Taza, de par sa situation géographique stratégique, situé entre deux unités montagneuses : le Rif au N et le Moyen Atlas au S, fossé qui se rétrécit progressivement d'W en E jusqu'à disparaître un peu à l'W de Taza. Ce couloir correspond essentiellement à la vallée de l'oued Inaouen, affluent important de Sebou [23]. Disposant de la célèbre trouée, seule voie de passage entre l'est et l'ouest, Taza a joué depuis l'antiquité un rôle militaire stratégique. En plus de ce rôle, plusieurs édifices et monuments ont vu le jour, notamment sous les dynasties ayant régnées après l'arrivée de l'Islam [24].

La ville de Taza se situe à cheval entre deux domaines géographiques et géologiques distincts. Cette situation lui confère un rôle important en ce qui concerne la liaison entre le Maroc oriental et les autres régions du Maroc. La vallée de l'Oued Taza traversant la ville de Taza est une zone remarquable par son paysage, les eaux de l'Oued Taza qui alimente l'oued Lârbâa sont sujettes à des rejets d'eaux usées et d'ordures domestiques. Les risques que peuvent apporter de telles actions ne seront considérés que néfastes sur le plan sanitaire, écologique, hydrogéologique.... En plus les champs d'agriculture limitrophes à l'oued sont irrigués par ces eaux, ce qui menace la vie de la population et participe à la dégradation des sols.

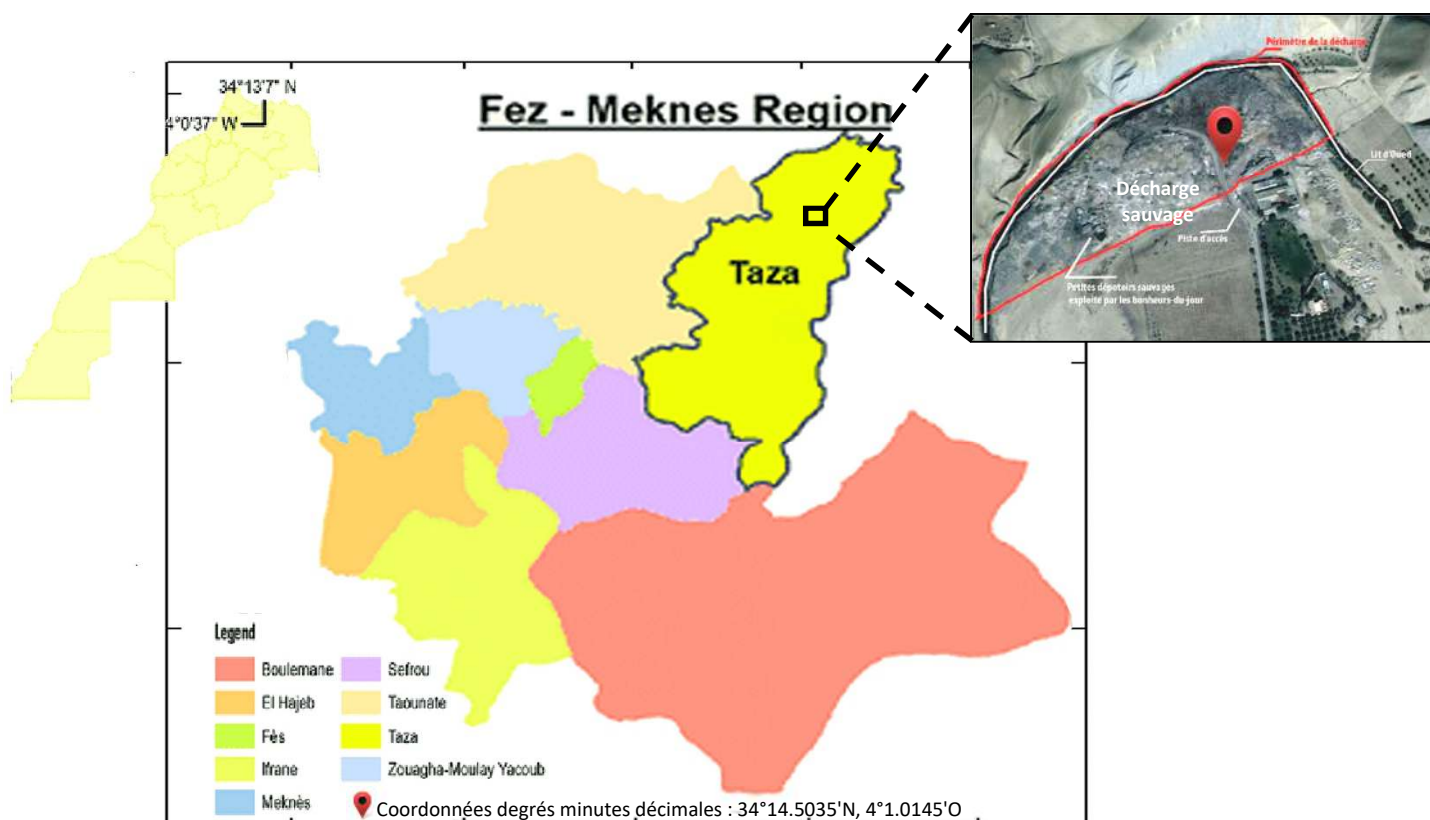


Fig. 1. Situation géographique de la décharge sauvage de la ville de Taza

2.2 CARACTERISTIQUE BIOPHYSIQUE DU MILIEU D'ETUDE

2.2.1 DONNÉES CLIMATIQUES

Le climat de la région est de type méditerranéen : humide en hiver et semi-aride en été [25] et le régime des pluies dans la zone d'étude se caractérise par deux saisons bien distinctes et très contrastées [26] :

- Une saison pluvieuse s'étalant pratiquement sur 8 mois d'Octobre à Mai, avec une pluviométrie moyenne voisine de 580 mm (les zones montagneuses sont beaucoup plus arrosées : jusqu'à 1500 mm)
- Une saison sèche de Juin à Septembre où la moyenne des températures maximales approche 35°C.

La moyenne des précipitations annuelles entre 1987, date de mise en service de la station Béni Hitem installée sur l'oued Lârbaa, et l'année 2003 s'élève à 532mm/an. A la station Bab Choub sur l'Oued Lahdar, la moyenne des précipitations durant la même période s'élève à 667,5 mm/an.

La saison chaude correspond à la période comprise entre avril et octobre, la saison froide correspond à la période comprise entre novembre et mars. On enregistre aussi des températures extrêmes avec des maxima élevés et des minima très bas.

La configuration du relief fait de Taza une des villes les plus venteuses du Maroc, le phénomène de couloir étant accentué par son rétrécissement au droit de l'agglomération [27], [28].

Les vents dominants sont du secteur Ouest en hiver (humide et froid), d'Est en été (sec et chaud), et peuvent atteindre des vitesses élevées.

2.2.2 DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

La région de Taza est d'une morphologie hétérogène avec une dominance montagneuse [25] et la ville de Taza se situe dans la partie sud rifaine du Maroc, limitée au nord par la ville d'Al Hoceima à 140 Km, à l'ouest par la ville de Fès à 120 Km, par la ville de Guercif à l'est à 60 Km et au sud par les chaînes montagneuses du Moyen Atlas [24].

La ville de Taza est bâtie dans la vallée de l'oued Lârbaa qui matérialise la limite entre deux formations montagneuses de structures très différentes :

- Le Moyen Atlas au Sud qui est constitué de roches dures (calcaires, basaltes, schistes) et présente un relief aux formes abruptes et vigoureuses.
- Le Rif au Nord, qui est constitué essentiellement de matériaux plus tendres (marnes) et présente un relief plus mou et fortement travaillé par l'érosion.

Cette situation de la ville à cheval sur deux entités structurales très contrastées, explique à la fois le relief très accidenté au droit de la vallée et les multiples caractéristiques et types de sols rencontrés à Taza [27], [28].

Le relief présente une structure étagée, où on peut distinguer quatre niveaux : la Médina au Sud (altitude moyenne de 580 m), la zone du quartier Moulay Youssef avec l'Ourida et les Oliviers, la Ville nouvelle (500 m) et la zone basse au Nord de la RN6, la Gare (400 m). Soit un dénivelé de 180 m. Près de 50 % des terrains à Taza et à ses environs immédiats ont des pentes supérieures à 5 % et environ 9% ont des pentes situées entre 15 et 20 %.

Côtes du Niveau Général du Maroc (N.G.M) des principaux secteurs de la ville :

- La gare446 m.
- La place de l'indépendance.....498 m.
- Le carrefour de la Gendarmerie.....520 m.
- La place de Moulay El Hassan (Médina).....585 m.
- Koucha Haut.....625 m.

2.2.3 DONNÉES GÉOLOGIQUES

La région de Taza est caractérisée par deux unités géologiques qui diffèrent par leur lithostratigraphie et leur structure. Le domaine rifain, au nord, dépôts post-Jurassiques à prédominance marneuse, au Sud, s'étend la partie Nord-est du moyen Atlas septentrional. Les anciennes formations de cette unité sont constituées par des schistes et des roches éruptives du paléozoïque, surmontées en discordance par des argiles du Trias [24], [25]. Ces unités affleurent essentiellement à la faveur

de failles et de la boutonnière de Zekkara (sud-ouest de Taza). Les formations carbonatées liasiques forment une auréole assez large du massif de Tazakka [25].

En partant des sols fins vers les sols gréseux, les sols rencontrés dans les premiers mètres de profondeur (à partir du Terrain Naturel) sont :

- Les marnes bleues remaniées très argileuses du Tertiaire.
- Les marnes bleues franches grisâtres et assez compactes.
- Les marnes sableuses jaunâtres assez compactes.
- Les marnes tuffacées et tufs.
- Les dépôts limoneux quaternaires (bruns, rouges ou gris).
- Les alluvions quaternaires du Villafranchien : plus ancien étage du quaternaire, compris entre le pliocène et le pléistocène (conglomérats de galets remaniés dans une matrice argilo-calcaire).
- Les conglomérats gréso-calcaires.
- Les travertins.

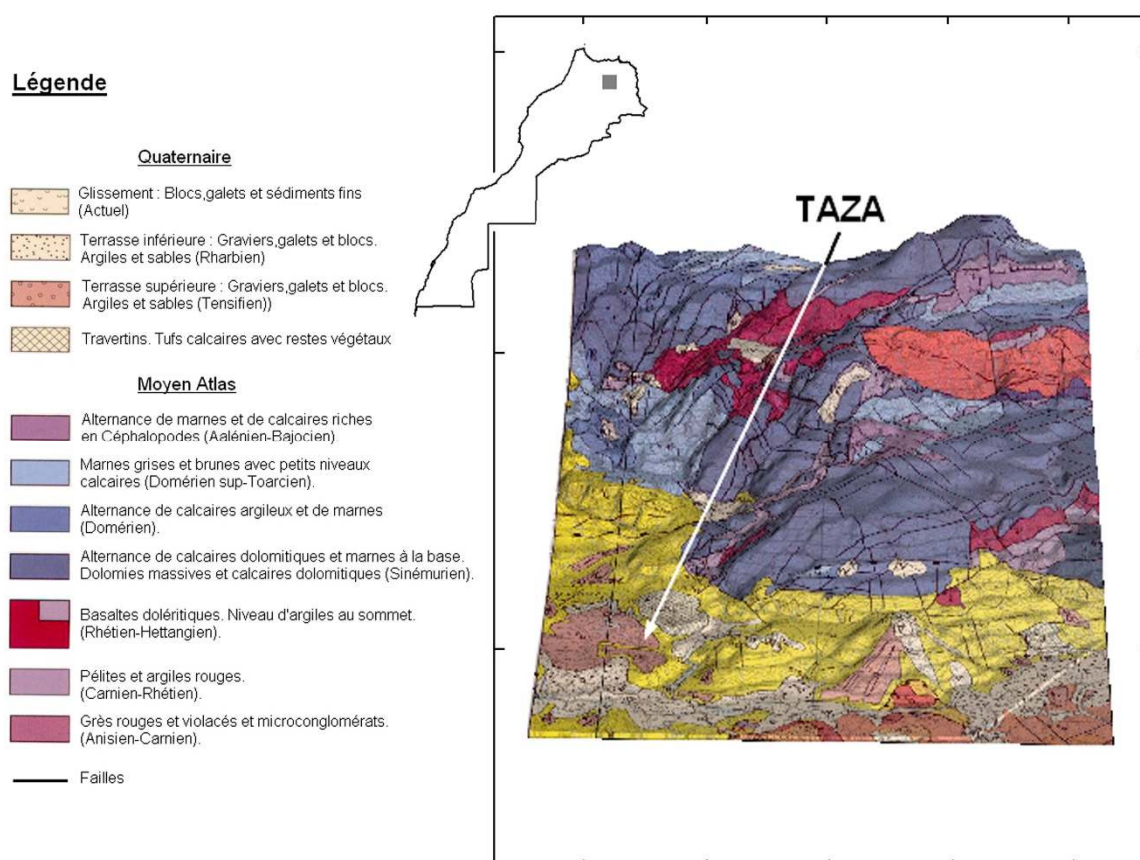


Fig. 2. Représentation 3D de la géologie de la zone d'étude [29] modifiée.

2.2.4 RELIEF ET HYDROGRAPHIE

La ville de Taza fait partie du grand bassin de Sebou avec un réseau hydrographique relativement dense, représenté essentiellement par oued Inaouen et ses affluents venant du Nord et du Sud [25]. Elle est composée par l'Oued Lârbâa affluent de l'Oued Inaouen et par les oueds Taza ; Laghouireg, Defali et Jaouna qui traversent la ville du sud vers le Nord pour rejoindre Oued Lârbâa (figure 3).

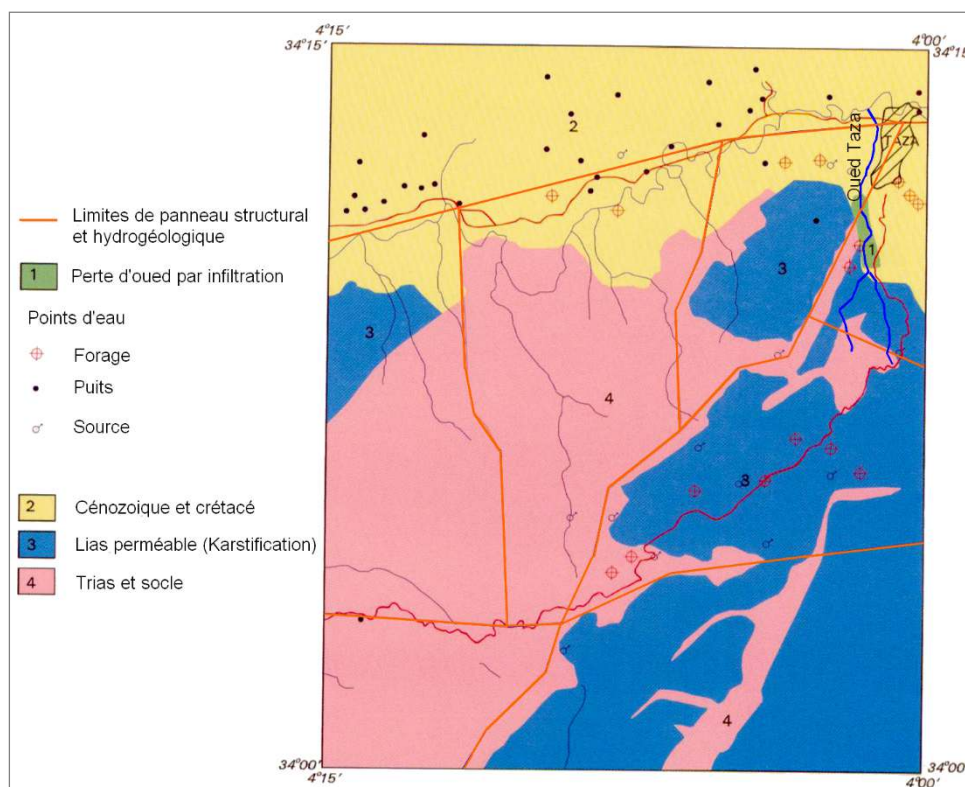


Fig. 3. Schéma hydrogéologique de la région de Taza au 1/200000 [30] modifiée

La nappe de Taza s'étend à l'Est et au Sud-est de la ville, entre la retombée Nord-est de Tazakka et le Pré rif. La surface de l'impluvium de ce panneau constituée des formations liasiques est de l'ordre de 110 Km². On distingue deux types de nappes à Taza [24]:

- Une nappe profonde : cet aquifère est constitué de calcaires de profondeur variant de 300 à 1000 m et plus dans certaines zones. Actuellement 5 forages sont en activité pour l'approvisionnement en eau potable de la ville, en plus de l'approvisionnement à partir du barrage Bab Louta qui date de 1999. Du fait du caractère karstique du sous-sol dans la région. Les ressources exploitées se localisent principalement au sud de la ville.
- Une nappe phréatique : La ville de Taza est entourée de plusieurs sources, qui sont caractérisées par leur faible débit dû à la nature du sous-sol, qui ne permet pas un stockage important. Ces sources constituent des affleurements de la nappe phréatique dans la région.

La ville de Taza est alimentée à partir des eaux souterraines de la nappe de Taza (forage Jiarine et les sources Aïn N'ssa et Aïn Anemli) et des eaux de surface à partir du barrage Bab Louta [23].

Les besoins moyens de l'ensemble des provinces et préfectures de la région Fès-Meknès qui n'étaient que de 130 Mm³/an en 2005 (soit 4119 l/s), s'élèvent à 167 Mm³/an en 2020 (soit 5292 l/s) ; et devraient atteindre 199 Mm³/an en 2030 (soit 6306 l/s). Les besoins de la province de Taza seront de l'ordre de 8.10 % [25].

2.2.5 RESSOURCES VÉGÉTALES

La flore marocaine compte, à l'état actuel des connaissances, quelques 8 000 espèces [31]. Très peu d'informations sont disponibles pour certains groupes de grand intérêt écologique et socio-économique, et de nombreux sites du Maroc n'ont presque jamais été prospectés. La diversité floristique connaît au Maroc un des plus forts taux d'endémisme de toute la région euro-méditerranéenne. Ainsi, sur 4 500 taxa de plantes vasculaires, indigènes ou naturalisées, 800 à 951 taxa sont endémiques [32], [33]. Au Nord du Maroc, nous comptons quelques travaux botaniques et socioéconomiques relatifs à la flore vasculaire [34], [35], [36], [37], [38], [33], [39].

Dans ce cadre, L'espace forestier au niveau de la province de Taza totalise 401 339 ha, soit un taux de 26,7 %, contre 12,7 % au niveau national. Il est constitué par des écosystèmes forestiers, para-forestiers et alfatiers. Dominés par les résineux (90 %), les reboisements réalisés ont intéressé au niveau de la province 4 000 ha de nouvelles superficies et 3 500 ha de plantations

anciennes. Le taux de reboisement atteint est de 1,86%, nettement inférieur à la moyenne nationale (8 %) et du taux optimal (15 à 20 %) nécessaire à l'équilibre socio-écologique et environnemental [40], [41]. Selon le Centre de Développement Forestier Taza-nord (CDF), le secteur forestier du domaine pré-Rifain est constitué de 96 764 ha, occupés par le chêne vert (52 149 ha), le pin d'Alep (15 310 ha), le thuya (11 484 ha), le chêne liège (1 500 ha), l'alfa (1 490 ha) et le pin maritime (500 ha). Les essences secondaires, se développant en matorral et maquis, totalisent 6 022 ha. Selon la Direction Provinciale d'Agriculture (DPA) Taza (2010), les forêts occupent en moyenne $4\,574 \pm 5\,660$ ha/Commune (N=23), avec un équivalent de 0,40 ha/hab. La Superficie Agricole Utile (SAU) dans la zone d'étude représente 43 %, avec une moyenne de $7\,248 \pm 4\,177$ ha/Commune (N=23), contre 13% à l'échelle nationale [40]. Le nombre d'agriculteurs par Commune est en moyenne de $1\,500 \pm 599$ agriculteurs (N=22). L'occupation de la SAU est en fonction du type de cultures : céréales (53,6 %), arbres fruitiers (28,9 %), légumineuses (26,7 %) et cultures fourragères (2 %). Les espèces arboricoles dominantes sont l'olivier et l'amandier, avec 64,1% et 32% de la superficie arboricole dans le même ordre [42], [27]. Par ailleurs, la zone d'étude est confrontée à plusieurs contraintes de développement : relief montagneux accidenté, morcellement de la structure des exploitations, roches en affleurement tendres et imperméables, érosion édaphique, surpâturage et défrichement [43], [41], [44].

2.3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel d'étude est un projet d'EIE selon un modèle de management intégré QSE, dédié à la réhabilitation de la décharge Julien de la ville de Taza. Les méthodes utilisées pour la collecte de données sont sous forme d'enquêtes et d'analyses de laboratoire, observations sur le terrain, rapports officiels de projets et de recherches. Les descripteurs du modèle sont groupés en cinq catégories :

- Conditions extérieures ;
- Exploitation ;
- Entrants ;
- Déchets enfouis ;
- Sortants.

2.3.1 L'APPLICATION DU SMI-QSE POUR L'ÉLABORATION DE LA MATRICE DE LÉOPOLD INTÉGRÉ (ML-I)

Parmi les matrices d'évaluation, la plus connue est la «matrice de Léopold» [45]. Il s'agit d'un des premiers efforts méthodologiques complets dans le domaine de l'ÉIE. De plus, elle offre à la fois la possibilité d'identification et d'évaluation des impacts. La matrice fut développée pour le compte du « United States Geological Surveys » afin d'analyser différents types de projets de construction [46].

L'EIE de la décharge publique de la ville de Taza a été élaboré et validé en utilisant la matrice de Léopold (ML) [22], complétée par l'expression des 21 descripteurs du système de management intégré SMI pour constituer la Matrice de Léopold Intégré (ML-I). Elle s'applique à une évaluation cohérente et enregistrable de l'importance des différentes composantes. Les éléments de cadrage inclus dans la ML-I sont : physiques/chimiques, biologiques et écologiques, sociaux, culturels et économiques et opérationnels.

Les 21 descripteurs du SMI-QSE [47] sont utilisés pour dépister les éléments d'EIE. Au niveau de chaque source d'impact plusieurs descripteurs sont utilisés successivement ou simultanément pour dévoiler l'influence sur l'élément environnemental étudié. L'ensemble des réponses des descripteurs sont moulés dans une matrice de Léopold récapitule l'EIE approprié au cas d'étude (Tableau 1).

Tableau 1. Etude d'impacts sur l'environnement de la décharge non contrôlée de la ville de Taza selon la matrice de Léopold [22], adoptée aux descripteurs du modèle du SMI-QSE [46], [21]

Eléments environnementaux	Descripteurs du SMI-QSE utilisés selon les sources d'impacts							
	Relief final de la décharge	Travail des récupérateurs (chiffonniers)	Présence du bétail	Biogaz	Méthode d'exploitation	Sacs de plastique (envoies)	Circulation	Lixiviats
Sol								3-9-10-11-17-18
Eaux souterraines								3-4-17-18
Air				5-6-12-13-15-16-19-20-21	5-6-7-8-9-15-16-18-19-20			4-5-6-11-17-18
Flore		1-2-4-5	1-2-4-5	4-5-6-12-19-20-21	1-2-4-5-6	1-2-4-5-6-7-8-9		3-4-5-6-9-10-17-18
faune		1-2-4-5	1-2-4-5	4-5-6-12-19-20-21	1-2-4-5-6	1-2-4-5-6-7-8-9		3-4-5-6-9-10-17-18
Eaux de surface : Cours d'eau longeant le talus côté Nord					1-2-4-5-6-8-9-10-11-15-16-17-18	1-2-4-5-6-7-8-9-15-16		1-2-4-5-6-9-10-15-16-17-18
Paysage	1-4-5-6-7-9-15-16-18-19	1-2-4-5-9-15-16	1-2-4-5-6-7-8-9-15-16		1-2-4-5-6-9-15-16	1-2-4-5-6-9-15-16		1-2-4-5-6-9-15-16-17-18
Santé publique		1-2-3-4-5-6-9-15-16-17-21	1-2-3-4-5-6-9-15-16-17-21	1-2-3-4-5-6-9-12-15-16-17-19-20-21	1-2-3-4-5-6	1-2-4-5-6-9-15-16		1-2-3-4-5-6-9-15-16-17-18
Auto-Route Fès-Oujda, Efficacité du service de l'exploitation		1-2-4-5-6-9-15-16-17-18-20	1-2-4-5-6-9-15-16-17-18-20	1-2-4-5-6-9-12-15-16-19-20-21	1-2-3-4-5-6-9-15-16-17-18-20	1-2-4-5-6-9-15-16-17-18-20	1-2-4-5-6-9-15	1-2-3-4-5-6-9-15-16-17-18-20
Légende des Descripteurs	1	Contexte général du stockage des déchets			12	Potentiel méthanogène		
	2	Environnement humain et réglementaire			13	Caractérisation chimique de base		
	3	Milieu souterrain			14	Température		
	4	Milieu naturel et hydrographie			15	Tassement		
	5	Aménagements fonctionnels et suivi d'exploitation			16	Perméabilité		
	6	Coûts d'exploitation			17	Composition des lixiviats		
	7	Flux et origine des déchets			18	Bilan hydrique et production de lixiviats		
	8	Caractérisation physique des déchets			19	Mesure de production de gaz : flux surfacique		
	9	Densité			20	Calcul de la production de gaz		
	10	Teneur en eau			21	Composition du gaz		
	11	Comportement des déchets à l'eau						

2.3.2 APPROPRIATION DES DÉMARCHES D'EIE POUR LE CAS DU CSD DE TAZA, PAR L'APPLICATION DU SMI-QSE

L'EIE est un instrument d'aide à la décision dans les différentes étapes de réalisation d'un projet. Elle intègre les aspects économiques, sociaux et environnementaux pour tendre vers la solution de moindre impact et fournit à l'autorité administrative les éléments nécessaires pour :

- S'assurer que le projet ne porte pas atteinte à l'environnement ;
- Se prononcer sur la nature et le contenu de la décision à prendre.

L'EIE est un outil privilégié de prévention de la pollution et de la dégradation de l'environnement. Il permet d'épargner aux gestionnaires des Centres de Stockage des Déchets (CSD) et à l'autorité les surcoûts et les conflits habituellement constatés après la réalisation du projet de réhabilitation des CSD. Elle est aussi un outil de planification qui définit les actions à mettre en œuvre et les paramètres à suivre ainsi que les échéanciers, les dépenses et les responsabilités des différents intervenants. L'EIE permet d'examiner différentes alternatives pour dégager celles qui répondent le mieux aux besoins économiques et sociaux et aux exigences de protection de l'environnement. L'EIE aide les responsables des **CSD** publiques à mieux concevoir leur site d'enfouissement en évaluant les conséquences sur l'environnement et en identifiant les solutions pour les atténuer.

Les méthodes traditionnelles d'évaluation technique et économique des CSD ne prenaient pas en considération de manière adéquate les préoccupations environnementales. L'EIE basée sur la ML-I vient combler cette lacune en intégrant l'évaluation environnementale dans les différentes étapes de gestion et de réhabilitation des sites pollués utilisés comme décharges publiques. Pour cela le ML-I prend en considération les impacts négatifs par la détermination, la prévision, l'interprétation, l'atténuation et la surveillance des effets environnementaux au même titre que les aspects scientifique, politique et techniques dans le processus décisionnel local (figure 4).

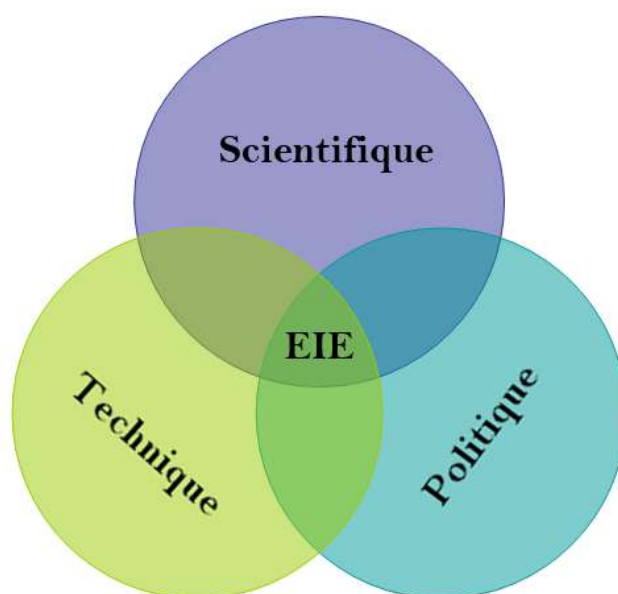


Fig. 4. Les trois niveaux d'examen de l'ÉIE, selon SMQ-QSE [48] modifié

2.3.2.1 ETAPES DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La première étape consiste à faire un tri (sélection) sur la base de la liste réglementaire appropriée à la méthode de gestion (contrôlée ou non contrôlée) et de la nature du site utilisé comme décharge publique, ainsi que son environnement direct.

La deuxième étape comprend l'identification des enjeux environnementaux liés au CSD sujet de l'EIE, des principaux impacts susceptibles d'être générés par la gestion ou la réhabilitation de ce CSD, son étendue et les composantes de l'environnement à étudier. Elle doit aboutir à la définition du contenu de l'EIE et de la manière dont elle devra être conduite (termes de références de l'étude d'impact sur l'environnement spécifiques aux CSD publiques).

La troisième étape porte sur l'élaboration de l'EIE qui doit se faire selon une approche progressive et itérative pour aider les gestionnaires et responsables locaux des CSD à décider de la faisabilité de leurs démarches environnementales, afin d'envisager d'autres alternatives pour converger progressivement vers la solution ayant le moindre impact.

La quatrième étape est réservée à l'autorité compétente chargée d'examiner le rapport de l'EIE et notifier sa décision: avis favorable ou défavorable à la réalisation des actions recommandées par cette EIE.

La cinquième étape consiste à suivre les effets de ces recommandations techniques au moment de la réalisation, pendant la période d'exploitation et après la fermeture et démantèlement,... C'est une étape importante qui vise à :

- S'assurer que les mesures d'atténuation des impacts sont bien respectées ;
- Vérifier l'efficacité de ces mesures ;
- Identifier les insuffisances à temps pour engager les mesures correctives nécessaires et les éviter dans les futurs cas similaires.

2.3.2.2 CONTENU DE L'ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La place qu'occupe l'EIE dans les processus de décision n'est pas très bien définie ni toujours similaire d'un endroit à un autre (figure 5). Les mécanismes décisionnels actuels la relèguent souvent à l'arrière-plan ou dans un rôle plus ou moins accessoire, car, comme l'affirmait MUNN [49]: «les plans de gestion de l'environnement qui prévoient une évaluation des impacts à longue échéance bouleversent sans aucun doute les mécanismes traditionnels de décision». C'est aussi l'opinion des rédacteurs du rapport Brundtland quant aux barrières institutionnelles actuelles, notamment celles des règles du marché [50].

Pour aboutir à la solution optimale de moindre impact, l'approche méthodologique adoptée dans la conduite de l'étude d'impact sur l'environnement doit envisager différents sites d'enfouissement au site de Julien et variantes techniques possible de réhabilitation future. En appréciant les différentes solutions sur les plans technique, économique et environnemental, l'autorité compétente pourra justifier et argumenter le choix final du scénario de réhabilitation.

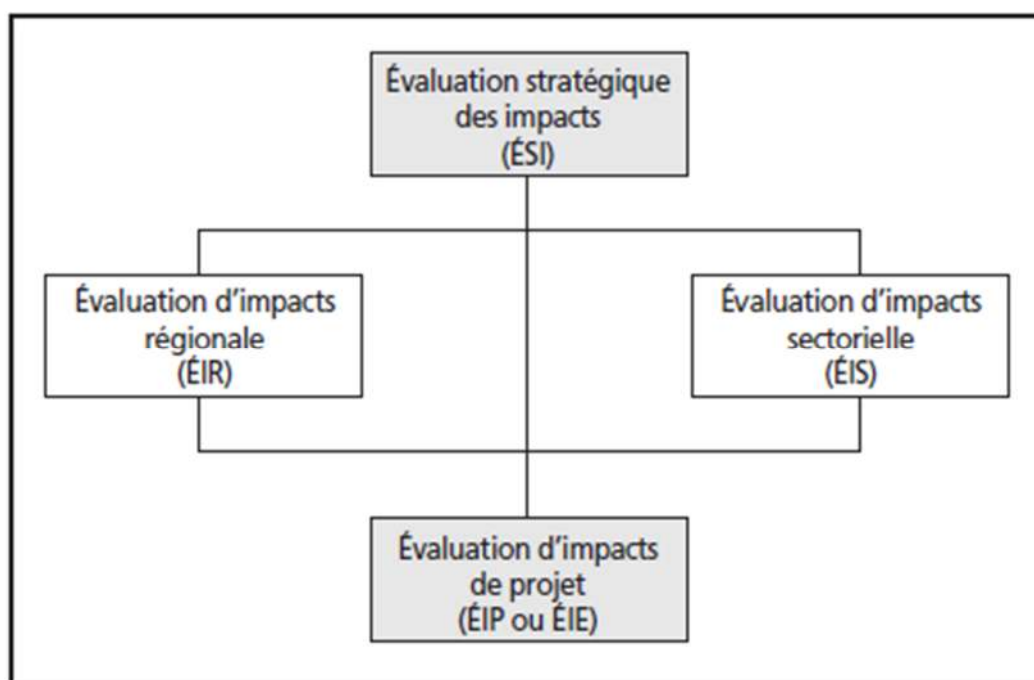


Fig. 5. Divers niveaux d'évaluation d'impacts: du général (ÉSI) au particulier (ÉIP ou ÉIE), selon SMQ-QSE [48] modifié

1. La description détaillée du site d'étude: description des différentes alternatives, des variantes envisagées pour les différentes composantes du site du CSD et potentiels identifiés et retenus: Elle doit faire ressortir les composantes d'EIE, susceptibles d'engendrer des impacts négatifs qui devraient être analysés et comparés lors de l'évaluation environnementale.
2. L'analyse de l'état initial du site: analyse du site et de son environnement et particulièrement les éléments et les ressources naturelles susceptibles d'être affectées par la réalisation de l'unité. Elle doit définir l'état de référence de l'environnement en affinant les éléments identifiés lors de l'opération du cadrage (étendue de l'étude) sur la base des données collectées et des investigations complémentaires effectuées. Cet état zéro, sera pris comme référence dans l'évaluation environnementale. L'analyse des impacts sur l'environnement: Elle consiste à évaluer les conséquences prévisibles des différentes variantes envisagées et les comparer pour analyser par la suite de manière précise les effets sur l'environnement de la configuration retenue pour le cas de la décharge Julien de Taza. L'analyse doit s'intéresser aussi bien aux impacts directs liés à la réalisation et l'exploitation, qu'aux impacts indirects, qu'ils soient temporaires ou permanents, positifs ou négatifs.

3. Les mesures d'élimination, d'atténuation et de compensation des impacts: Les mesures de protection de l'environnement comprennent :

- Les mesures de suppression des impacts préconisés dans la phase de conception ;
- Les mesures d'atténuation des impacts qui n'ont pas pu être supprimés partiellement ou totalement ;
- Les mesures de compensation préconisées pour les impacts qui, même après atténuation, continuent à présenter un risque pour l'environnement. L'ensemble de ces mesures doit aboutir à des impacts résiduels acceptables après atténuation et faire l'objet d'une estimation des coûts correspondant à leur mise en œuvre. L'objectif étant de s'assurer que la réhabilitation éventuelle du site répond globalement aux critères économiques, techniques et environnementaux.

4. Le Plan de Gestion Environnementale: Il définit les moyens et les conditions que doit assurer le gestionnaire du CSD pour mettre en œuvre les mesures de suppression, d'atténuation, de compensation et de suivi des impacts environnementaux pendant la phase de réalisation, au cours de la période d'exploitation et après la fermeture du site de la décharge.

2.3.2.3 L'ÉVALUATION À POSTERIORI

L'évaluation du projet de création du CSD ne s'arrête pas avec la décision d'octroi de l'autorisation de réalisation du CSD, mais se prolonge pendant les périodes de construction et d'exploitation et dans certains cas après même la fermeture ou l'arrêt des activités. Un suivi devra donc être assuré tout au long du cycle de vie du CSD dans le but de :

- Vérifier si la mise en œuvre des mesures d'atténuation et du Plan de Gestion Environnemental étaient effectués conformément à l'EIE ;
- Contrôler l'évolution de la qualité des rejets et du milieu récepteur et tout changement apporté à l'environnement ;
- Evaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre et identifier les insuffisances de l'évaluation initiale effectuée au moment des EIE ;
- Remédier à temps aux lacunes constatées et en tenir compte dans l'évaluation environnementale des nouveaux CSD publics. Ce contrôle est aussi contraignant, les dispositions réglementaires ont prévu des pénalités pouvant provoquer la résiliation du contrat de gestion du CSD avec le délégataire en cas du non-respect des mesures mentionnées dans l'étude d'impact sur l'environnement.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS NÉGATIFS DE LA DÉCHARGE NON CONTRÔLÉE DE LA VILLE DE TAZA SUR L'ENVIRONNEMENT

La description du milieu environnant du site de la décharge de la ville de Taza , ainsi que le mode d'enfouissement ont permis de mettre en exergue les différentes composantes du milieu pouvant être influencées par l'existence et l'exploitation de cette décharge.

Afin de faciliter la lecture, les impacts mis en évidence ont été identifiés et évalués en utilisant la matrice de Léopold [22] qui permet de dégager l'interaction entre les sources d'impacts et les éléments environnementaux susceptibles d'être touchés (Tableau 2).

Tableau 2. Etude d'impacts sur l'environnement de la décharge non contrôlée de la ville de Taza selon la matrice de Léopold

	Sources d'impacts									
	Phase d'exploitation							Post exploitation		
Eléments environnementaux	Travail des récupérateurs (chiffonniers)	Présence du bétail	Biogaz	Méthode d'exploitation	Sacs de plastic (envoies)	Circulation	Lixiviats	Relief final de la décharge	Biogaz	Lixiviats
Sol							-			-
Eaux souterraines							-			-
Air			-	-			-		-	-
Flore	-	-	-	-	-		-		-	
faune	-	-	-	-	-		-		-	
Eaux de surface : Cours d'eau longeant le talus côté Nord				-	-		-			-
Paysage	-	-		-	-			-		
Santé publique	-	-	-	-			-		-	-
Auto-Route Fès-Oujda, Efficacité du service de l'exploitation	-	-	-	-	-	-				

Le signe : - : sera utilisé pour désigner un impact négatif mineur.

- - : Impact négatif moyen et - - - : Impact négatif majeur.

3.2 ANALYSE DES IMPACTS NÉGATIFS DE LA DÉCHARGE SUR L'ENVIRONNEMENT, SELON LES RÉPONSES DES DESCRIPTEURS DU SMI-QSE

3.2.1 IMPACTS SUR LE MILIEU PHYSIQUE

Les impacts probables sur le milieu physique concernent principalement les eaux souterraines, les eaux de surface, l'air et le sol.

3.2.2 IMPACTS SUR LES EAUX SOUTERRAINES

L'impact négatif de la décharge de Julien (décharge actuelle de la ville de Taza) sur la qualité des ressources en eau souterraines n'est pas perçu avec acuité pour les raisons suivantes :

- La nappe est très profonde, et constituée de calcaires de profondeur variant de 300 à 1000 m, et même plus dans certaines zones, ce qui constitue une couche non saturée importante favorisant l'auto épuration du sol ;
- Les calcaires et dolomies du Lias inférieur et moyen constituent l'aquifère liasique de Taza. Son épaisseur moyenne est de 100 mètres. Il se présente en bancs massifs ou fins caractérisés par une karstification plus ou moins poussée, influençant profondément sa perméabilité. Le toit et le substratum sont formés par les couches imperméables, respectivement des marnes du Miocène supérieur et des argiles et dolérites altérées du Permo-Trias.

3.2.3 IMPACTS SUR LES EAUX DE SURFACE

La présence de l'oued Lârbâa au pied du talus Nord de la décharge représente un impact majeur sur l'environnement, puisque il est susceptible d'être contaminé de façon permanente par les lixiviats, les envoies et même par les déchets solides en période pluviale suite aux effondrements du talus Nord de cette décharge sauvage.

La ville de Taza est bâtie dans la vallée de l'oued Lârbâa, dont l'activité socio-économique d'une large tranche de la population est influencée par ce cours d'eau. Par la suite, la propagation de toutes contaminations de cet oued, entrainera directement, un élargissement de la zone d'impact environnemental de cette décharge sauvage.

En outre, l'infiltration des eaux pluviales dans la masse de la décharge, laissée sans enfouissement, risque de compromettre la stabilité de l'ensemble du site.

3.2.4 IMPACTS SUR LA QUALITÉ DU SOL

L'absence d'une barrière étanche à la base des déchets est à l'origine d'une possibilité réelle d'infiltration des eaux de lixiviation dans le sol, ce qui engendre une contamination directe du sol.

3.2.5 IMPACTS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

En absence d'un système de drainage et de captage du biogaz, celui-ci échappe naturellement du côté latéral, notamment au niveau des talus escarpés mis à nu ce qui est à l'origine d'une pollution olfactive potentielle.

En outre, les lixiviats des bennes tasseuses sont actuellement déchargés avec les déchets au niveau de la décharge, avant d'être infiltrés ou accumulés dans des petits lacs à l'intérieur du massif de la décharge. Ces lixiviats sont devenus une source de nuisance olfactive potentielle.

Concernant la méthode d'exploitation de la décharge de Julien, il faut dire que le manque ou la difficulté d'assurer un recouvrement systématique, à cause du gène dû au travail des récupérateurs et à la présence du bétail, peut entraîner le dégagement des odeurs nauséabondes qui sont généralement perçues au niveau des quartiers proches de la décharge à savoir Hay Lmalha, Gare routière, route Ouahda. La zone touchée par ces odeurs peut s'étendre jusqu'à l'autoroute Fès-Oujda, selon la vitesse et la direction des vents.

3.2.6 IMPACTS SUR LE MILIEU BIOLOGIQUE

3.2.6.1 FAUNE

La présence de troupeaux d'ovins et de bovins dans la décharge de Julien génère un impact direct sur ces troupeaux en les exposants à un fort danger sur le site.

Un impact négatif indirect est identifié sur la santé publique (viande impropre à la consommation). Par ailleurs, l'existence de ces troupeaux (ovins, bovins) dans la décharge augmente la difficulté de gestion du site.

3.2.6.2 FLORE

Les arbres fruitiers, notamment les oliviers, ainsi que les exploitations agricoles existantes dans le périmètre du site de la décharge et sur une large zone du l'oued Laârba, sont exposées aux envoles et au risque de pollution liée à l'échappement du biogaz depuis la décharge.

3.2.7 IMPACTS SUR LA SANTÉ PUBLIQUE

Les impacts négatifs de l'exploitation de la décharge de Julien sur l'Homme touchent principalement la santé du personnel de la décharge, des chiffonniers et leurs familles installées près de la décharge et la santé des habitants des quartiers limitrophes touchés par les odeurs émanantes de la décharge.

L'activité développée par les récupérateurs met en danger leur santé. Ils travaillent dans des conditions d'hygiène indécentes et sont soumis en permanence aux dangers liés à la génération du biogaz et aux déchets contaminés.

La présence du grand nombre d'animaux sur le site crée de forts dangers de santé publique (viandes impropres à la consommation).

3.2.8 IMPACTS SUR L'EFFICACITÉ DU SERVICE

L'activité importante développée dans la décharge publique de la ville de Taza a comme conséquence directe une forte diminution de l'efficacité du service, voire l'impossibilité actuelle de gérer le site dans les règles de l'art. Les camions stationnent en effet trop longtemps sur le site de déversement en créant des zones d'attente trop importantes et déversent dans des zones inappropriées et trop dispersées. En corollaire, l'engin d'enfouissement est limité dans ses activités et doit effectuer des manœuvres sur des distances beaucoup plus importantes que nécessaire. Aussi, la présence du grand nombre d'animaux sur le site augmente la difficulté de gestion du site.

3.2.9 IMPACTS SUR LE PAYSAGE

L'image qui marque l'environnement du site de la décharge de Julien est celle des sacs de plastique contenant les déchets des travaux d'assainissement liquide (Photo 1) ou contenant des déchets médicaux ou des sacs de plastique emportés par le vent, ce qui défigurent le paysage des alentours.



Photo 1: Pollution visuelle due aux sacs de plastique

Les résultats d'EIE de la décharge sauvage de Taza, site de Julien, ainsi que les scénarios de réhabilitation préconisés dans les travaux précédents [21], sont nettement différentes de celle de l'EIE de la décharge non contrôlée de la ville d'Agadir, site de Bikarane [46]. Dans l'ensemble des catégories d'EIE, la mise en décharge des différents types de déchets est l'étape la plus impactant dans ces deux décharge non contrôlées, mais les résultats de EIE mettent en évidence l'impact majeure pour le cas de Bikarane, qui est la présence des chiffonniers au site d'enfouissement. Tandis que, la délimitation de la décharge de Taza, site de Julien par l'oued Lârbaa, constitue l'impact majeur qui génère la plupart des autres impacts de cette derrière.

4 CONCLUSION

L'EIE de la décharge publique de la ville de Taza a été réalisé pour évaluer les impacts actuels et futurs du site de Julien. Les impacts futurs sont liés aux différentes options de réhabilitation éventuelles de la décharge qui sont : la mise à niveau du gisement de la décharge actuelle ou la délocalisation de la décharge, c'est-à-dire la construction d'un nouveau site d'enfouissement. Les impacts mis en évidence par la Matrice de Léopold Intégrée ont été identifiés et évalués par l'expression des 21 descripteurs du SMI. Les éléments de cadrage inclus dans la ML-I ont montré que les impacts négatifs minimums seront obtenus après fermeture et réhabilitation du site d'enfouissement. Les plus graves impacts négatifs sont : la contamination de l'eau souterraine et superficielle et la pollution atmosphérique, ce qui menacera directement la santé publique. Ces impacts peuvent être atténués grâce à l'application du SMI-QSE dans la gestion globale du site étudié.

En perspective, l'application systématique des réponses des 21 descripteurs du SMI-QSE, sur les démarches de l'EIE, ainsi que la réévaluation de ces démarches, permettra de simplifier la comparaison entre les options de réhabilitation éventuelles de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza, et par la suite faire face aux impacts environnementaux négatifs qui pourraient affecter les éléments environnementaux dans la région.

REFERENCES

- [1] MATEUH, Etude de la gestion des déchets ménagers et assimilés au Maroc. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat, Secrétariat d'Etat chargée de l'Environnement, Royaume du Maroc, 2004.
- [2] K. Sadiqi, L'initiative nationale pour le développement humain au Maroc : étude et perspectives. Thèse de doctorat, Université Hassan 1er, Maroc / Université d'Artois, France, 2012.
- [3] A. Benkhadra, "Mobilisation pour une croissance verte au Maroc," Responsabilité & Environnement, no. 61, pp. 25-31, 2011.
- [4] Enda Maghreb, Options de gestion des déchets solides municipaux adaptées aux contextes des Pays du Sud. Rapport réalisé dans le cadre du programme d'appui aux initiatives de gouvernance environnementale et territoriale conduit par Enda Tiers Monde et la Direction du Développement et de la Coopération suisse (DDC). 2007.
- [5] MATEE, Secteur des déchets solides, Situation actuelle & perspectives de développement. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement. Maroc, 2003.
- [6] DEPP, Etude de la stratégie d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre dans le Secteur Déchets ménagers. Direction des Etudes, de la Planification et de la Prospective, Ministère délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement / chargé de l'Environnement. Maroc, 2014.
- [7] L. Bantoux, The incineration of waste in Europe: issues and perspectives. A report prepared by the institute for prospective technological studies (IPTS), Seville. European Commission Joint Research Centre, 1999.
- [8] L. Guérin, Devenir des polluants inorganiques contenus dans les résidus issus de la combustion des déchets ménagers. Spéciation et élaboration de tests de mobilité en vue de leur stockage ou de leur valorisation. Thèse de doctorat, Université de Toulon et du Var, France, 2000.
- [9] ORS, L'incinération des déchets en Île-de-France : considérations environnementales et sanitaires. Observatoire Régional de la santé d'Île-de-France (ORS), France, 2005.
- [10] R. Dales and M. Raizenne, "Residential exposure to volatile organic compounds and asthma," J. Asthma, no.3, pp. 259-70, 2004.
- [11] L. Elliott, M. P. Longnecker, G. E. Kissling and S.J London, "Volatile organic compounds and pulmonary function in the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994", Environ. Health Perspect, no. 8, pp.1210-4, 2006.
- [12] A. Arif, and S. Shah, "Association between personal exposure to volatile organic compounds and asthma among US adult population", Int. Arch. Occup. Environ. Health., Vol. 8, no. 80, pp. 711-719, 2007.
- [13] P. Giudici, M.T. Guillaum and C. Ségala, "Évaluation des risques sanitaires : microbiologiques : actualisation des connaissances", Environnement, Risques & Santé, vol. 5, no. 12, pp. 409-421, 2013.
- [14] C. Xiaoli, H. Yongxia, L. Guixiang, Z. Xin and Z. Youcai , "Spectroscopic studies of the effect of aerobic conditions on the chemical characteristics of humic acid in landfill leachate and its implication for the environment", Journal of Chemosphere, vol. 7, no. 91, pp. 1058-1063, 2013.
- [15] H.M. Sohrab, A. Norulaini, V. Balakrishnan, V.R. Puvanesuaran, M.Z.I. Sarker and O. A. Mohd, "Infectious Risk Assessment of Unsafe Handling Practices and Management of Clinical Solid Waste", Int. J. Environ. Res. Public Health, vol. 2, no. 10, pp. 556-567, 2013.
- [16] A. Idlahcen, S. Souabi, A. Taleb, K. Zahidi and M. Bouezmarni, "Evaluation de la pollution générée par les lixiviats de la décharge publique de la ville de Mohammedia et son impact sur la qualité des eaux souterraines", Journal of Scientific Study & Research, vol. 1, no. 15, pp. 035 – 050, 2014.
- [17] Y.S.C. Somé, T.D. Soro, and S. Ouedraogo, "Étude de la prévalence des maladies liées à l'eau et influences des facteurs environnementaux dans l'arrondissement de Nomgr-Masson : cas du quartier Tanghin (Ouagadougou-Burkina Faso) ", Int. J. Biol. Chem. Sci, vol. 1, no. 8, pp. 289-303, 2014.
- [18] A. Zalaghi, F. Lamchouri, H. Toufik, M. Merzouki, "Valorisation des matériaux naturels poreux dans le traitement des Lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza", J. Mater. Environ. Sci, vol. 5, no. 5, pp. 1643-1652, 2014.
- [19] A. Zalaghi, F. Lamchouri, H. Toufik, M. Merzouki, "Traitement par le procédé SBR (Sequencing Batch Reactor) des lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza (Maroc)", International Journal of Innovation and Applied Studies, Article Accepted (key: IJIAS-18-148-07), 2018.
- [20] GIZ-Tanger, Rapport de la Coopération Technique Allemande, Programme Gestion et Protection de l'Environnement (PGPE), 2008.
- [21] A. Zalaghi, F. Lamchouri, H. Toufik, M. Merzouki, "Utilisation d'un système de management intégré, Qualité-Sécurité-Environnement, pour la réhabilitation de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza (Maroc)", International Journal of Innovation and Applied Studies, vol.2, no. 23, pp. 180-191, 2018.

- [22] Ricour J. and A. Lallemand, Sites pollués et déchets, Manuels & méthodes, Editions BRGM, Orléans, France, 1994.
- [23] Hamdani N., Monographie des Ressources en Eau de la Région de Fès-Meknès. Mémoire de fin d'études, Lyon Université Sidi Mohammed Ben Abdellah - FST, Fès, pp. 17-70, 2015.
- [24] ORH, Observatoire régional de l'habitat, monographie régionale sur le secteur de l'habitat, région de Taza-Al Hoceima-Taounate, direction Régionale de Taza- Al Hoceima –Taounate, Ministère délégué charge de l'habitat et de l'urbanisme, 2014.
- [25] S. Masrour, L. Mesrar, S. Pomel and R. Jabrane, "Valorisation des roches carbonates liasiques du moyen atlas septentrional (province de Taza-Maroc)", J. Geomaghreb., no.5, pp. 155-165, 2009.
- [26] AQUASOFT, Choix d'un site pour l'implantation d'une décharge contrôlée de la ville de Taza. Rapport pré-définitif. Direction de la surveillance et de la prévention des risques, Ministère de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement, 2005.
- [27] AUT, Etablissement du plan d'aménagement du centre d'Ajdir, Province de Taza. Note de présentation, Agence Urbaine de Taza, 2011.
- [28] AUT, Plan d'aménagement du centre de Sidi Majbar, Province de Taza. Note de présentation. Agence Urbaine de Taza, 2013.
- [29] ABHS, Enquête hydrogéologique de Taza : rapport technique. Agence hydraulique de Sebou, Maroc, 2001.
- [30] M. Zemzami, M. Ben Abbou and I. Bouaamlat, "Aperçu de l'évaluation des risques d'inondation du bassin de la rivière Taza, Maroc", Asian Journal of Earth Sciences, vol.3, no. 8, pp. 83-96, 2015.
- [31] CEIB, Convention sur la Diversité Biologique. Biodiversité au Maroc. Centre d'Echange d'Information sur la Biodiversité du Maroc, <http://ma.chm-cbd.net/biodiversity>, 2006.
- [32] Z. Benrahmoune Idrissi and C. Dubruille, Invitation à l'amour des plantes. Guide floristique illustré de la réserve biologique de Sidi Bouhaba, Scriptura – Editions, Imprimerie Al Maarif Al Jadida, Rabat, pp. 18-25, 2003.
- [33] H. Fougrach, W. Badri and M. Malki, Flore vasculaire rare et menacée du massif de Tazekka (région de Taza, Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, no. 29, pp. 1-10, 2007.
- [34] A. Ennabili, L. Nabil and M. Ater, "Importance Socio-économique des Hygrophytes au Nord-Ouest du Maroc", Al Biruniya, Rev. Mar. Pharm., vol. 2, no. 12, pp. 95-120, 1996.
- [35] A. Ennabili, N. Gharnit and E. El Hamdouni, "Inventory and social interest of medicinal, aromatic and hony-plants from Mokrisset Region (NW of Morocco)", Stud. Bot., no. 19, pp. 57-74, 2000.
- [36] A. Ennabili, N. Gharnit, Y. Maach, A. El Meskaoui and D. Boust, "Exploitation des plantes médicinales et alimentaires du bassin versant de l'oued Laou (Nord-Ouest du Maroc)", J. Bot. Soc. Bot. France, no.36, pp.71-79, 2006.
- [37] M. Josep and M. Ontserrat, Distribucio de les formes vitals de raunklera la flora del n de Marroc, GreB. Institut Botànic de Barcelona, CSIC-ICUB.15 l'Atzavara, pp. 47-56, 2002.
- [38] A. Merzouki, F. Ed-Derfoufi and J. Molero-Mesa, "Contribution to the Knowledge of Rifian traditional medicine III: Phytotherapy of Diabetes in Chefchaouen province (North of Morocco)", Ars Pharmaceutica, vol. 1, no. 44, pp. 59-67, 2003.
- [39] M. Tarier and J. Dealcre, Carnets de voyage naturalistes au Maroc. Le toit du Maghreb. <http://homepage.mac.com/jdelacre/carnets/page8/page14/page14.html>, 2007
- [40] O. Mhirit, F. Benchekroun, Les écosystèmes forestiers et preforestiers: situation, enjeux et perspectives pour 2025. pp 393-483, 2006.
- [41] SPEF, Monographie forestière du Service Provincial des Eaux et Forêts, Taza, Maroc, 2008.
- [42] DPAT, Monographies de la Direction Provinciale de l'Agriculture à Taza, Maroc, 2010.
- [43] M. Loukili, O. Haloui, A. Abouyaala, M. Allaoui, A. Ozer and M. Salmon, "Intérêt de la carte d'aptitude des terres dans la lutte antiérosive par la DRS fruitière cas de l'amandier dans le cercle d'Aknoul Maroc Rif oriental", Revue HTE, no.133, pp.50, 2006.
- [44] BRLI, Etude d'impact environnemental et social du projet éolien de Touahar. Rapport d'étude acoustique n°R120713-VF, 2012.
- [45] L.B. LÉOPOLD, F.E. CLARKE, B.B. HANSHAW and J.R. BALSLEY, A Procedure for Evaluating Environmental Impact. U.S. Geological Survey. Circular 645, Washington, D.C., pp. 13, 1971.
- [46] R.E. MUNN, Évaluation des impacts sur l'environnement: principes et méthodes. Deuxième édition française (1975). Groupe de travail du «Scientific Committee on Problems of the Environment» (SCOPE). Rapport no 5, Toronto, Canada, pp. 175, 1977.
- [47] Zalaghi A., Contribution à l'élaboration et validation d'un système de management intégré et traitement physique et biologique des lixiviats, Thèse de doctorat - Faculté des sciences, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah-Fès - Maroc, 2014.
- [48] A. Gaétan Leduc and M. Raymond, L'évaluation des impacts environnementaux, un outil d'aide à la décision. Editions multimondes, 930, rue pouliot, sainte-foy (quebec), CANADA, 2000.

- [49] R.E. MUNN, Environmental Impact Assessment: Principles and Procedures. Second Edition (1975). Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). Report no. 5. John Wiley & Sons, Toronto, pp. 190, 1979.
- [50] CMED, Notre avenir à tous. Rapport (Brundtland) de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED), Les Éditions du Fleuve et Les Publications du Québec, Montréal, pp. 456, 1988.

دور التصميم الداخلي في تعزيز العواطف الإيجابية داخل المسكن

[The Role of Interior Design for Enhancing Positive Emotions within The House]

Amany Mashhour Hendy¹⁻² and Nehal Nabil Zahra¹

¹Assistant professor, Interior Design and Furniture Section, Faculty of Applied Arts, Damietta University, Egypt

²Associate professor, Faculty of Architecture Engineering and Design, Kingdom University, Bahrain

Copyright © 2018 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: Interior design has an important role in handling house spaces, not only by meeting physical needs and indoors activities but also achieving the psychological needs and positive emotions for house occupants. Enhancing positive emotions indoor house is one of the most priorities in contemporary life. Because of nowadays life stresses that around man, it makes him seeks to create quiet and safe environment in his house as a refuge.

The problem of research is there are many life stresses that man adapting difficulty, and he needs to take rest and feel happy inside his house. So, how can interior design enhance positive emotions for decreasing stresses and increasing human -house attachment? How sensory stimuli affect creating positive emotions inside house? Do house occupants emotional case change when interior design elements characteristics -that are considered environmental sensory stimuli - change? Are there special considerations for house design affect individuals' emotions?

While designing residential spaces, there are different emotion are created, it may help its' occupants attach with space or repugnance it. Hence, this research aims to determine the methods which can be used to enhancing individuals' positive emotions by using interior design and Stimulating Senses to configure emotional human -house attachment, through analytical studies.

KEYWORDS: House interior design, design for emotions, sensory stimuli, positive emotions.

المخلص: ان التصميم الداخلي له دور هام في تهيئة فراغات المسكن، ليس فقط عن طريق تلبية الاحتياجات الفسيولوجية التي تعتمد عليها ممارسة الأنشطة بل يمتد إلى تحقيق الاحتياجات السيكولوجية والتي بدورها تعمل على تعزيز العواطف الإيجابية لدى شاغلي المسكن. وبعد تعزيز العواطف الإيجابية داخل المسكن واحدا من أولويات الحياة المعاصرة، فإنسان العصر الحديث محاط بالضغوط النفسية العديدة الناتجة عن صعوبات الحياة. هذا ما يجعله يسعى لتحقيق بيئة آمنة وهادئة في مسكنه الذي يعتبر ملجأ الوحيد.

ومن هنا تتضح مشكلة البحث في صعوبة تأقلم الإنسان المعاصر مع الضغوط الحياتية وحاجته إلى الراحة واستشعار السعادة داخل مسكنه. فكيف يمكن للتصميم الداخلي أن يعزز العواطف الإيجابية مما يساعد في التخفيف من هذه الضغوطات وزيادة ارتباط الإنسان بمسكنه من خلال التفاعل مع مفردات وعناصر المسكن؟ وكيف تؤثر المحفزات الحسية على تكوين العواطف الإيجابية داخل المسكن؟ وهل التغيير في خصائص عناصر التصميم الداخلي باعتبارها محفزات حسية بيئية يؤدي إلى تغيير الحالة العاطفية لشاغلي المسكن؟. وهل هناك اعتبارات تصميمية خاصة بالمسكن ونشاطاته تتعلق بالجانب العاطفي للأفراد؟ كما انه عند تصميم الفراغات السكنية التي يتعامل معها الأفراد، تتكون لديهم مشاعر مختلفة قد تساعد في ارتباطهم بالمكان أو النفور من فراغاته. ويهدف هذا البحث إلى تحديد الآليات المستخدمة لتعزيز العواطف الإيجابية لدى الأفراد بأعمال التصميم الداخلي وتكوين وتحفيز حواس الأفراد للوصول إلى حالة من الارتباط العاطفي مع الفراغ السكني، من خلال الدراسات التحليلية.

الكلمات الافتتاحية: التصميم الداخلي للمسكن، التصميم للعواطف، المحفزات الحسية، العواطف الإيجابية.

□ قبة:

إن التصميم الداخلي قادر على تلبية واستيعاب متطلبات الأفراد الجسدية والعاطفية، وتقديم تجربة فريدة للأفراد خلال إقامتهم داخل الفراغ السكني. فصياغة عملية التصميم الداخلي للمسكن تتم بناء على معطيات تم استشفافها من شاغليه ثم ترجمتها إلى مفردات وعناصر تطبق في الفراغات الداخلية. هذه التجربة يمر بها الإنسان عن طريق حواسه التي يستخدمها في التواصل مع البيئة المحيطة به خلال مكان معين ووقت معين، فتحدث عملية ارسال واستقبال نتيجتها تنعكس على حالة الإنسان العاطفية والمزاجية والتي يتبعها انعكاس على سلوكه.

وتبدأ عملية تعزيز العواطف الإيجابية باستثارة المشاعر أولاً عن طريق المحفزات الحسية البيئية . فالعاطفة هي استعداد انفعالي للشعور بتجربة وجدانية ينتج عنها القيام بسلوك معين تجاه شيء أو شخص أو فكرة ، فالعاطفة مصدر الانفعالات وهي تقابل العقل. والعواطف يمكن أن تكون عابرة فالشعور بالسرور أو الغضب تجاه شيء ما يكون لحظي. كما أن العاطفة هي مجموعة من المشاعر المكثفة التي توجه لشخص أو شيء ، فالعواطف تنشأ نتيجة التعامل أو الاحتكاك بين الأفراد والمؤثرات المحيطة بهم أو حدوث فعل معين يدرك فيه الفرد ما أسباب مشاعره. كما أن العواطف تنتج عن حدث محدد وتكون مدتها قصيرة جداً (ثواني أو دقائق). والعواطف محددة ومتنوعة مثل الغضب، والخوف، والحزن، والسعادة، والاشمئزاز، والمفاجأة (Stephen P. Robbins and Timothy A. Judge, 2013, p. 98). كما أن العواطف تنتج بسبب محفز خارجي ، فالعواطف سهلة التغير والتأثر بالمحفزات الخارجية التي تولد لدى الفرد مشاعر تندمج مع تجاربه السابقة وخصائصه الشخصية وربما الاجتماعية والثقافية. وينتج عنها رد فعل يمكن ملاحظته وتحديد. وتعدد المحفزات الخارجية تنتج موجات عاطفية مكثفة تتقاطع معاً تحدث تغير بيوكيميائي ثم تتكون حالة عاطفية تدوم لفترة طويلة (P.Ekman and R.Davidson, 1994, p. 58). لذا يمكن الاعتماد على إثارة العواطف لإحداث تحفيز إيجابي أو سلبي باستخدام عناصر التصميم الداخلي ، وتحديد رد فعل الفرد تجاه البيئة الداخلية للمسكن سواء بالانجذاب أو النفور من خلال تحفيز عواطف محددة بصورة متتالية يمكنها تشكيل الحالة المزاجية المناسبة لكل فراغ داخل المسكن.

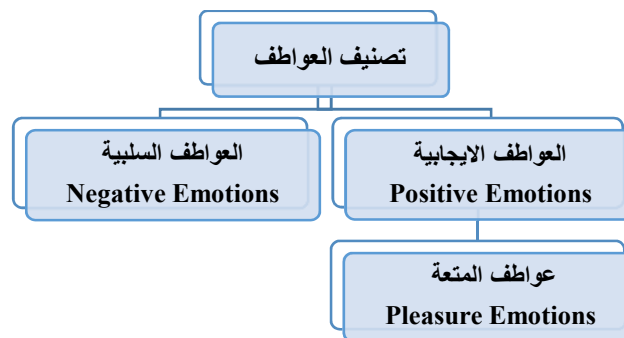
تصنيف العواطف:

هناك العشرات من العواطف التي يشعر بها الفرد ولكن أتفق معظم العلماء على وجود ست عواطف أساسية وهي والغضب، والخوف، والحزن، والسعادة، والاشمئزاز، والمفاجأة (Stephen P. Robbins and Timothy A. Judge, 2013, p. 100).

جدول رقم (1) يوضح نتائج دراسات مختلفة لتحديد العواطف الأساسية "Basic Emotions"

Izard, 2007	Ekman, 1993	Izard, 1977	Ekman & Friesen, 1971
الاهتمام	الاهتمام	الاهتمام	—
المتعة/ السعادة	المتعة	المتعة	السعادة
الغضب	الغضب	الغضب	الغضب
الحزن	الحزن	—	الحزن
الاشمئزاز	الاشمئزاز	الاشمئزاز	الاشمئزاز
الخوف	الخوف	الخوف	الخوف
	الازدراء	الازدراء	
	المفاجأة	المفاجأة	
		الذنب	
		الضيق	
		الخجل/العار	

وقد قام كلا من " Paul Ekman " و " Wallace Friesen " في عام 1971 م بعمل دراسة على ما إذا كانت المشاعر عالمية (أي أنها موحدة بين جميع البشر) أم لا ؟ وهل هناك عواطف أساسية؟ وهل توجد نفس المشاعر عند كل البشر؟ من خلال روى قصص على مجموعة من البشر مختلفين الجنسية وتسجيل مشاعرهم وتعريفها والاستدلال عليها من خلال تعبيرات الوجه، واثبتت الدراسة أن السعادة والغضب والحزن والاشمئزاز والمفاجأة والخوف هي عواطف أساسية مشتركة بين جميع الأفراد. وبناء على ذلك فإن هناك عدد ثابت من "العواطف الأساسية"، والتي تختلف عن بعضها البعض، وأن هذه المشاعر هي "الأساسية" لأن كل واحدة منها له قيمة معنوية تنتج عن التكيف مع الحياة البشرية (Jokinen, 2015, p. 47).



شكل رقم (1) يوضح خطط لتصنيف العواطف

وتنقسم العواطف إلى نوعين إما أن تكون إيجابية مثل الفرح والامتنان، أو تكون سلبية مثل الغضب والذنب، لأن العواطف لا يمكن أن تكون محايدة. وعندما تقسم العواطف إلى إيجابية وسلبية فيعتبر هذا تحديد للحالة المزاجية لأنه يتم النظر إليها بصورة عامة وليست فردية كل عاطفة على حدى (Stephen P. Robbins and Timothy A. Judge, 2013, p. 100).

■ العواطف الإيجابية positive emotions:

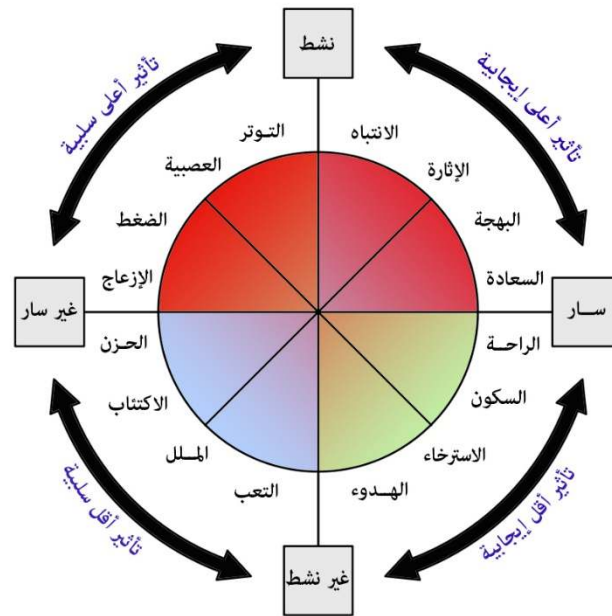
تساعد العواطف الإيجابية في إنتاج أنماط فكرية غير عادية ومرنة وإبداعية لدى الفرد ، وتوجه سلوك الفرد الى التنوع والابداع . وتوسع النشاط الفكري الفردي ، ففي تجربة لقياس معدل النشاط الفكري أثناء وجود مشاعر الفرح والرضا والخوف والغضب أن مشاعر الفرح والرضا أظهرت نتائج أفضل . كما أن العواطف الإيجابية تحمل بدورها فوائد تكيفية غير مباشرة وطويلة الأمد تساعد في تعزيز الموارد المادية ومنها الصحة وطول العمر ، والموارد الاجتماعية مثل الدعم الصداقات ، والموارد الفكرية ومنها تطور الفكر وزيادة الخبرة المعرفية ، والموارد النفسية ومنها المرونة والابداع والتفاؤل (Michele M. Tugade Fredrickson and Barbara L., 2002, pp. 319-340).

■ عواطف المتعة Pleasure emotions :

ان وصول الفرد لمشاعر المتعة تعنى أنه تخطى الحد الأقصى للمشاعر الإيجابية في ظل غياب تام للمشاعر السلبية ، بالإضافة إلى تجربة مشاعر سامية تتدرج وصولاً إلى الروحانيات

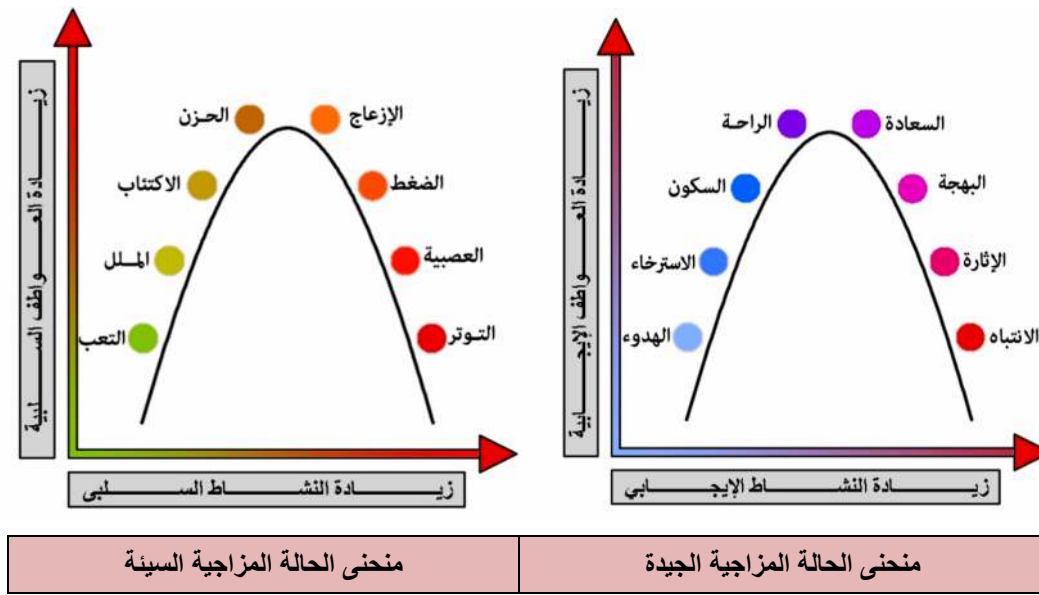
■ العواطف السلبية Negative emotions:

ان العواطف السلبية هي حالات غير سارة قصيرة الأجل ومتغيرة بشدة ، وتصحبها ردود أفعال قد تكون هادئة أو مضطربة . وترتبط العواطف السلبية بعدم تلبية الاحتياجات وعدم تحقيق الأهداف الذي يسبب الإحباط ، كما ترتبط بالإدارة غير الفعالة للعواطف وتتمثل في عدم قدرة الفرد على الاتصال مع احتياجاته ومشاعره وعدم معرفة ذاته . كما ترتبط المشاعر السلبية بالتفكير السلبي والأحداث الصادمة والخسائر والعقوبات والقيود. كما ان معظم الدراسات التجريبية الخاصة بالعواطف السلبية أثبتت أن لها آثار ضارة مثل تقييد عملية التفكير ، والميل الى التركيز على المعلومات والأشياء السلبية ، وعدم الرضا ، وانخفاض الانخراط العاطفي لدى الفرد (Andrieş, 2011, p. 27:33).



شكل رقم (2) يوضح الهيكل البنائي للمزاج (المتكون من مجموعة من العواطف)

في الشكل رقم (2) تمثل الإثارة التأثير الأعلى إيجابية ، ويمثل الملل التأثير الأقل إيجابية ، وتمثل العصبية التأثير الأعلى سلبية ، ويمثل الاسترخاء التأثير الأقل سلبية . كما يمثل الراحة خليط من (تأثير إيجابي عالي وتأثير سلبي منخفض) ، بينما يمثل الحزن خليط من (تأثير سلبي عالي وتأثير إيجابي منخفض). ويلاحظ أن هذا الشكل لا يجمع كل العواطف مثل المفاجأة لأنها لا يمكن تحديد ما إذا كانت ذات تأثير إيجابي أم سلبي. ومن هنا يمكن تحديد أن الحالة المزاجية الجيدة لها مدى معين يتكون من مجموعة من العواطف تمثل منحنى قمته السعادة والراحة ، وقاعه الانتباه والهدوء . أما الحالة المزاجية السيئة لها مدى معين يتكون من مجموعة من العواطف تمثل منحنى قمته الانزعاج والحزن ، وقاعه التوتر والتعب.

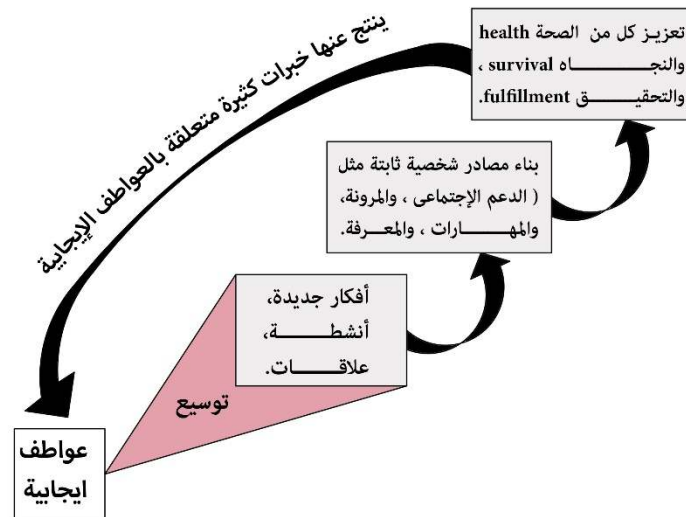


شكل رقم (3) يوضح منحنى الحالة المزاجية وتأثرها بمعايير العواطف و معيار النشاط

نظريات العواطف :

هناك العديد من النظريات التي حاولت تفسير العواطف ووضع ملامح مفسرة لها، ولكن اختلفت هذه النظريات فتم تناول إشكالية العواطف من أكثر من وجهه نظر في محاولة لفهم أوسع لها ووضعها في إطار معرفي محدد. وقد تم دراسة العواطف من الناحية الوراثة وتعلقها بالتراث الجيني ، والناحية الفسيولوجية ، والسيكولوجية، وتأثير الخبرات العاطفية السابقة لدى الفرد على عواطفه الحالية ، ودراسات أخرى مرتبطة بالخبرة الشخصية للفرد. فمن النظريات المفسرة للعواطف نظرية التطور، والنظريات الفسيولوجية العصبية ، نظرية العواطف المنفصلة ، نظرية الأسبقية الوجدانية ، والنظرية المعرفية، ونظرية العواطف لفريجدا ، ونظرية الأحداث الوجدانية، ونماذج التسريب العاطفي(Andrieş, 2011, p. 28:29).

كما أن من النظريات المهمة في تفسير العواطف هي نظرية البناء والتوسيع للعواطف الإيجابية والتي تنص فيها فرضية البناء على أنه كلما تعرض الفرد لعواطف إيجابية أكثر كلما تطورت موارده الشخصية. وبالنسبة لفرضية التوسيع تتبنى فكرة أن إحساس الفرد بالعواطف الإيجابية يؤدي الى توسيع مؤقت في كثير من المجالات الوظيفية مثل الأعضاء والادراك والاهتمام والدوافع(Cohn, 2008, pp. 2,3).



شكل رقم (4) يوضح خطط نظرية التوسيع والبناء للعواطف الإيجابية

وطبقا إلى النظريات السابقة

تم تنقيح بعض النقاط المؤثرة بالعواطف والتي تعتبر ذات علاقة مباشرة بالمحفزات البيئية ومنها أعمال التصميم للبيئة الداخلية للمسكن ، وهذه النقاط هي :

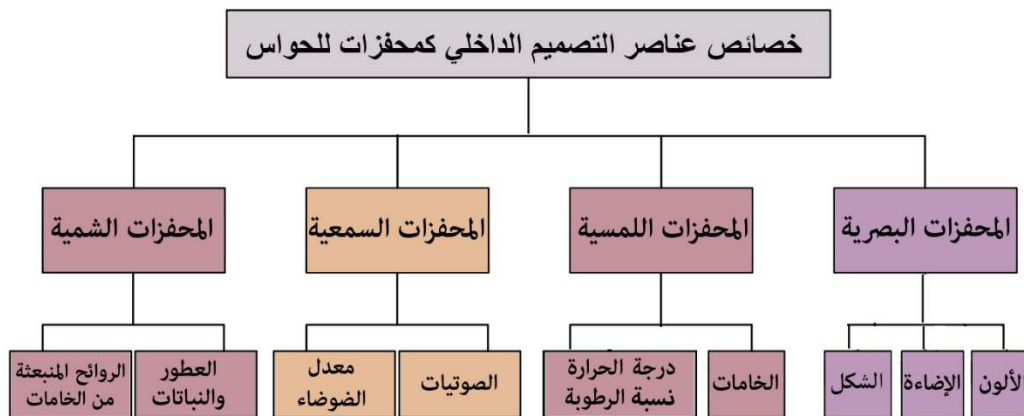
- تتأثر العواطف بمدى سد الاحتياجات الأساسية للأفراد من خلال أعمال التصميم الداخلي.
- تتأثر العواطف بالحالة الفسيولوجية للفرد وكل ما يؤثر الجهاز العصبي ، والحالة الفسيولوجية مرتبطة بالراحة البدنية ومعدل النشاط للفرد داخل المسكن .
- تتأثر العواطف بتداخلها معا ، أي أن إذا تعرض الفرد إلى الشعور بأكثر من عاطفة معا تكون النتيجة مختلفة سواء كانت هذه العواطف إيجابية أو سلبية.
- تتأثر العواطف بالعوامل المعرفية للفرد ، فتتغير العواطف لدى الأفراد بتغير إدراكهم للمؤثرات البيئية المحيطة بهم.
- تتأثر العواطف بالخبرات السابقة للأفراد .
- تعزيز العواطف الإيجابية لدى الأفراد يساهم في تحسين الحالة الوجدانية ككل.

عناصر التصميم الداخلي كمحفزات للعواطف :

ان المحفزات الحسية داخل الفراغ الداخلي للمسكن تؤثر على عواطف الأفراد ، فيتصل الفرد بالبيئة المحيطة ويستشعر مكوناتها وعناصرها من خلال حواسه والتي تقوم بإرسال إشارات للعقل والذي بدوره يقوم بتفسيرها وتكوين عاطفة محددة وتحديد ما إذا كانت إيجابية أو سلبية . وتصنف المحفزات الحسية للتصميم الداخلي إلى محفزات بصرية ، محفزات لمسية ، محفزات سمعية ، محفزات شمعية . ومن خلال التصميم الداخلي يمكن تعزيز العواطف الإيجابية للفرد من خلال إحداث تناغم بين هذه المحفزات بهدف تكوين تجربة عاطفية إيجابية لدى الفرد تخلق له حالة مزاجية جيدة داخل الفراغ السكني.

وتعتمد عملية الإدراك للفضاء البصري على خصائص عناصر التصميم الداخلي مثل اللون، والضوء، والخامات، والملمس، والحجم والشكل، فضلا عن العلاقات المتبادلة بينهم . وفي العمارة والتصميم الداخلي تستخدم مبادئ تصميم معينة لخلق أبعاد عاطفية للفراغ.

فالجوانب العاطفية للأماكن تتمثل في الأبعاد النفسية للتجربة المكانية التي يعيشها الفرد والتي تؤثر على مشاعره وعواطفه ومزاجه وتفضيلاته وسلوكياته داخل الفراغ (Asma Naz, Regis Kopper , Ryan P.McMahan and Mihai Nadin, 2017, p. 1:9).



شكل رقم (5) يوضح المحفزات الحسية بالفراغ الداخلي للمسكن

أولاً: المحفزات البصرية Visual Stimuli :

■ اللون والعاطفة:

يعتبر اللون من أهم عناصر التصميم الداخلي لما له من تأثير على الأفراد وتغير طابع الفراغ بسهولة ، فتؤثر الألوان على إدراك وسلوك ومشاعر الأفراد . فعلى سبيل المثال الألوان الدافئة تحفز عاطفة الإثارة ولكنها قد تشتت الانتباه ، والألوان الباردة تحفز عاطفة الهدوء وقد تسبب النعاس (Nurlelawati Ab. Jalil, Rodzyah and Mohd Yunus and Normahdiah S. Said, 2012, p. 54:60).

تأثيرات اللون على الشعور بالفراغ الداخلي للمسكن:

1. إثارة العواطف :

ان اللون عنصر أساسي في التصميم ، لما له من دور نفسي وعاطفي . وينحى الإنسان اتجاه اللون برد فعل إيجابي أو سلبي فالإحساس بدفع اللون يعطينا شعوراً بالأمان والإحساس ببرودة اللون يعطينا شعوراً بالهدوء ، كما أن الاتزان اللوني و الإيقاع اللوني والحركة في الألوان تؤثر على العواطف والوجدان. من هنا يمكن التحكم في العاطفة داخل المسكن من خلال اختيار ألوان التصميم الداخلي .

كما أن الألوان تؤثر على مشاعر وتركيز الأفراد وحتى صحتهم ، فالألوان تحفز ردود الأفعال التلقائية والغير واعية (Honey Arjmandi, Mazlan Mohd Tahir, Hoda Shabankareh, Mohamad Mahdi Shabani, and Fereshteh Mazaheri, 2011, p. 290). كما أن الألوان الباردة (ذات الطول الموجي القصير) تساعد على توفير حالة من الهدوء المزاجي للأفراد، بينما الألوان الدافئة (ذات الطول الموجي الطويل) تعمل على تحفيز وإثارة المشاعر. وأيضاً كلما تكون الألوان مشرقة ومشبعة تزداد جانبيتها ، فالألوان الدافئة المشرقة تعزز الإدراك (M. Lutfi Hidayetoglu, Kemal Yildirim ,and Aysu Akalin, 2012).

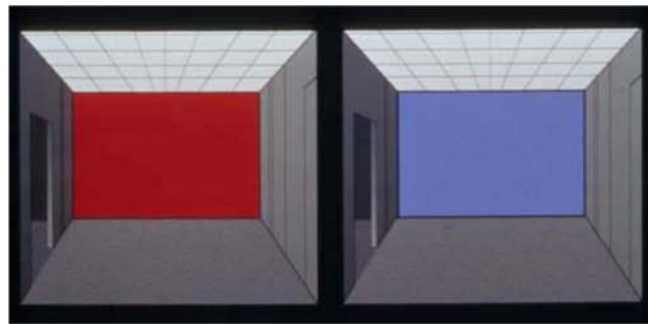
(p. 51) فيمكن استخدام الألوان الباردة في فراغات النوم ليساعد على الاسترخاء والهدوء ، واستخدام الألوان الدافئة في فراغات الطعام والمعيشة ليساعد على البهجة والاثارة والألفة.

جدول رقم(2) يوضح تأثير اللون على إثارة العواطف

اللون	العواطف التي يقوم بإثارتها
الأحمر:	يحاكي الرغبة ، ويعطي إحساس بالقوة والحركة والانفعال والإرادة.
الأزرق:	يعطي إحساسا بالثقة والصبر والانتظار والاحترام فهو لون الماء
الأخضر:	يمد الإنسان بالشعور بالهدوء والراحة وحب الحياة فهو لون النبات .
الأصفر:	يعطي إحساس بالطاقة الإيجابية وهو لون ملفت للانتباه ، الأصفر الصارخ يدل على الجمال والتألق والحيوية
البرتقالي:	يمد الإنسان بطاقة إيجابية وهو لون التواصل والتعاون
البنفسجي:	يعطي إحساس بالعزلة والأنانية
البنّي:	يعطي إحساس الارتباط والألفة فهو لون الأرض
الأبيض:	يعطي إحساس النقاء والبرودة ، كما يعطي إحساس الضعف والنسيان
الأسود:	يعطي إحساس بالعمق والحزن والكآبة

2. تحسين عيوب الفراغ الداخلي:

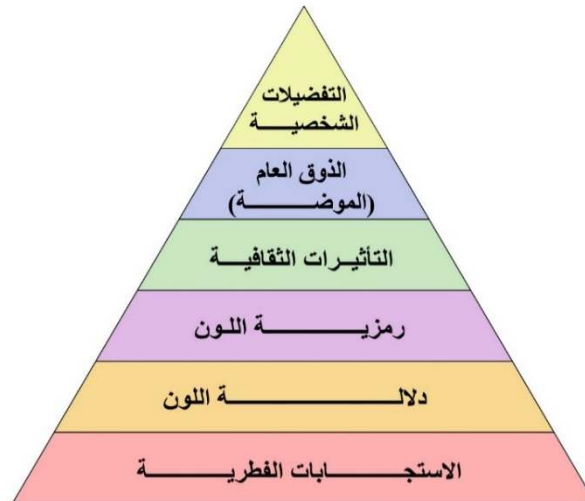
ان اللون يلعب دور أساسي في التصميم الداخلي لأنه يدرك على الفور ويعطي الأفراد إحساس بصري مدرك . فتعمل الألوان علي تحديد الأشكال والمساحات وتلعب دور في اعطاء اتزان بين الكتلة والفراغ . كما تعطي الألوان الفرد شعورا للفراغ على غير حقيقته فاستخدام الألوان الفاتحة والباردة تعطي شعورا باتساع الفراغ وبالتالي تتكون عواطف مثل الهدوء والاسترخاء والسكون ، واستخدام الألوان الداكنة والدافئة يعطي شعورا بضيق الفراغ فتتكون عواطف التوتر والضغط والانزعاج. وفي الشكل رقم (6) يوضح مثال على تأثير اللون في حل مشكلة ضيق الفراغ.



شكل رقم(6) يوضح تأثير اللون على الإحساس بكتلة الفراغ ، فلون الحائط البارد أعطى شعور بتراجع الحائط وبالتالي يكبر مساحة الغرفة ، أما اللون الدافئ أعطى شعور بتقدم الحائط وبالتالي يضيق مساحة الغرفة.

3. تعزيز العواطف الإيجابية :

الألوان لها دور مهم في تعزيز العواطف داخل الفراغ. و لكي يتم خلق تجربة عاطفية إيجابية داخل المسكن باستخدام اللون يجب التعرف على العناصر المشكلة لخبرة اللون لدى الفرد للوصول إلى أقرب صورة مفضلة يمكن من خلالها تحفيز العواطف الإيجابية . فكل لون يمثل مزاج معين ويرتبط ببيئة معينة تقابل توقعات ومشاعر الأفراد تجاه المكان المحيط بهم . وكما هو موضح في هرم خبرة اللون لفرانك ماهنكي " Frank H. Mahnke " شكل رقم (7) تتكون خبرة اللون من عدة مؤثرات وهي (Holtzschue, 2012, p. 57) :



شكل رقم (7) هرم خبرة اللون لفرانك مانهكي Frank H. Mahnke

- **الاستجابة الفطرية:** وتعني ردود الفعل البيولوجية نتيجة تعرض الفرد لمحفز لوني وهي موحدة لدى جميع البشر.
- **دلالة اللون:** تعبير اللون عن شيء متعارف عليه مثل ارتباط اللون الأحمر بالدم والعنف وهي ثابتة عالمياً.
- **رمزية اللون:** تعني وصف الشيء بلون محدد له مثل ألوان أعلام البلاد وألوان الرموز الدينية وهي تختلف من مجتمع لآخر.
- **التأثيرات الثقافية:** فبعض الحضارات القديمة لها ألوان مميزة لها وخاصة بها وهي تختلف باختلاف الشعوب والثقافات.
- **الذوق العام والموضة:** تختلف على مدار الوقت وتختلف من بلد لآخر ومن فترة زمنية لآخرى.
- **التفضيلات الشخصية:** فقد يميل الفرد للون معين وينفر من آخر دون أسباب واعية قد يكون لها علاقة بذكريات أو مواقف حياتية.

■ الإضاءة والعاطفة:

تلعب الإضاءة دور مهم في التصميم الداخلي لذا من المهم عند تصميم الإضاءة مراعاة جودة المجال البصري للأفراد وتوفير الصحة والأمان والاستمتاع. فقد أثبتت بعض الدراسات أن إحساس الراحة والرضا لشاغلي الفراغات الداخلية يتأثر بالمؤثرات الضوئية وجودة الهواء أكثر من المؤثرات الحرارية والصوتية. كما تشير بعض الدراسات إلى أن المباني التي يؤكد في تصميمها على استخدام ضوء النهار والمناظر الطبيعية والاتصال مع الطبيعة وخلق مساحة للتفاعل الاجتماعي داخل فراغاتها تعزز الحالات النفسية والاجتماعية الإيجابية كتحفيف الضغط وتحسين الأداء العاطفي، وزيادة التواصل، وتحسين الشعور بالانتماء. (Committee, 2016) كما أن درجة التباين في سطوع الأشياء تؤثر على الحالة العاطفية للأفراد الموجودة بالفراغ، وذلك لأنها تؤثر على زيادة أو قلة نشاط الأفراد لذا من الضروري عند تصميم الإضاءة أن يوضع في الاعتبار ماهية النشاط المؤدى في الفراغ، وتحديد درجة التحفيز المطلوبة لأداء هذا النشاط، وتحديد درجة تباين سطوع الإضاءة التي توفر التحفيز المطلوب لأداء النشاط. وتحديد درجة تباين الأسطح من خلال تحديد الأشياء المعرضة للضوء والأشياء المعرضة للظلام. كما أن تأثير توزيع الإضاءة والأنماط الناتجة عن المؤثرات الضوئية لها تأثير في عواطف الأفراد مثل الاحساس بالاسترخاء والنشاط والخصوصية والضيق والفرح.

تأثيرات الضوء كموجه للعواطف داخل الفراغ السكني (Rosella Tomassoni, Giuseppe Galetta and Eugenia Treglia, 2015, p. 1217: 1219):

1. تحفيز إدراك الفرد من خلال التعرض لضوء له نوع ولون معين لفترة زمنية محددة، مما يؤدي إلى شعور الإنسان بحالات عاطفية محددة أو سلوكه لفعل معين وخلق شعور بالانسجام والتناغم مع الفراغ المحيط به.
2. يؤثر على مزاج الأفراد، فيمكن خلق حالة من الهدوء والراحة، ويمكن خلق حالة من الغموض والتشويق بتوجيه العين والاحساس بالمعنى وذلك باستخدام إضاءات مدروسة بشكل معين.
3. يُحفز الضوء حالات عاطفية محددة وفقاً لشدة وتشبعه وتشكيله منها الإيجابي مثل الدينامية والاسترخاء والخصوصية والوضوح البصري والإثارة والإنتاجية والكفاءة، ومنها السلبي مثل الإجهاد والنعاس والحزن والإثارة والأرق والقلق.
4. تختلف الاستجابات الفردية تجاه الشيء المعرض للضوء باختلاف خصائص مصادر الضوء ما إذا كانت مشرقة أم خافتة، موحدة أم غير موحدة، أساسية أم ثانوية، دافئة أم باردة.
5. يساعد على إعطاء معنى للبيئة وتفسير الواقع المحيط بالإنسان وجعل كل تفاصيله جلية وواضحة ويساعد على التكيف مع الفراغ.
6. يستخدم لإخفاء أشياء معينة وإظهار غيرها فيعطى للإنسان شعور بالغموض والتعقيد، الذي ينشأ الرغبة في اكتشاف التفاصيل المخفية الجديدة وغير المعروفة ويساعد في ذلك الظلال وتدرجاتها.
7. الظلام يساهم في تنظيم الفراغ الداخلي وتحديد الإحساس بالكتلة والفراغ وجود الأشياء وغيابها.
8. التناوب بين الضوء والظلام يحاكي تناوب النهار والليل فيؤثر على الساعة البيولوجية للإنسان.
9. وفقاً لشدة الضوء، ومؤشر الانكسار والطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من مصدر الضوء، فإن الضوء يحدد تصور الإنسان للون داخل البيئة المضاءة، مما يؤثر على مزاجه وسلوكه.

تأثيرات الإضاءة على الشعور بالفراغ الداخلي للمسكن:

1. إثارة العواطف :

يمكن إثارة العواطف المختلفة لدى الأفراد باستخدام الإضاءة . ويمكن تحفيز العواطف المرغوب بها والتي تتناسب مع نشاط ومناخ كل غرفة بالمسكن وذلك من خلال اختيار خصائص الإضاءة وتنسيقها معا . وفي الجدول رقم (3) يتضح الخصائص المختلفة للإضاءات وتأثيرها على عواطف الأفراد.

جدول رقم (3) خصائص الإضاءة المختلفة وتأثيراتها العاطفية على الأفراد

العواطف التي يقوم بإثارتها	خصائص الضوء	
الاسترخاء وإثارة الشعور بالحماية والضيافة (Rosella Tomassoni, Giuseppe Galetta and Eugenia Treglia, 2015, p. 1220)	الإضاءة ذات الألوان الدافئة	لون الإضاءة
تحفز النشاط والتركيز	الإضاءة ذات الألوان الباردة	
الهدوء ، الاسترخاء ، والسكون ، والراحة.	الإضاءة الخافتة ليلا	
الانزعاج، والإجهاد، والارتباك، الاكتئاب . (TA Bedrosian and RJ Nelson, 2013 , p. 752).	الإضاءة الشديدة ليلا	شدة الإضاءة
فقدان الطاقة، والتعب ، الكآبة (Honey Arjmandi, Mazlan Mohd Tahir, Hoda Shabankareh, Mohamad Mahdi Shabani, and Fereshteh Mazaheri, 2011, p. 292)	الإضاءة الخافتة نهارا	
الانتباه ، الاثارة ، البهجة .	الإضاءة الشديدة نهارا	
الضيق ، والوضوح . (لأنها تعطي ظلال قوية).	الإضاءة المباشرة	نوع الإضاءة (Kelly, 2011, p. 17)
المتعة ، والراحة. (لأنها تعطي إحساس بـ اتساع الغرفة)	الإضاءة غير مباشرة	
الهدوء والسكون .	انعدام الإضاءة	
التوتر ، الوضوح ، الانتباه .	الإضاءة المركزة	
الملل	الوحدة (نوع واحد من الإضاءة)	توزيع الإضاءة
الاثارة ، والبهجة ، الانتباه	التنوع (أكثر من نوع إضاءة)	
الانزعاج ، الضغط ، والتوتر.	التباين (مناطق مضيئة وأخرى مظلمة)	
الراحة ، والسعادة ، البهجة .	التناغم	



صورة رقم (1) توضح تأثير الإضاءة على شعور الإنسان داخل الفراغ ، استخدام الإضاءة العالية المتساوية في الصورة على اليسار أعطى شعور بالرتابة والملل، أما توزيع وتصميم الإضاءة في الصورة على اليمين أعطى شعور بالبهجة والاثارة نظرا لوجود إيقاع وتناغم

2. تحسين عيوب الفراغ الداخلي:

ان اضاءة الحوائط بشكل واضح يؤدي الى الإحساس باتساع المكان عن ما هو عليه في الحقيقة ، كما أن السقوف الساطعة المستخدم فيها بيت النور تعزز الشعور باتساع الفراغ .

3. تعزيز العواطف الإيجابية :

- تعزيز الشعور بوضوح الرؤية:

يؤثر وضوح الرؤية على سهولة وصول الأفراد للأماكن والأشياء بسهولة وفي وقت قصير ودون تجربة شعور الخوف أو الضغط ، فالأشخاص الذين يتعرضون لما يسمى بالقلق المكاني نتيجة عدم وصولهم الى وجهتهم بسهولة داخل المكان يصابون بصداخ وارتفاع في ضغط الدم يؤدي الى شعور باليأس والتعب (M. Lutfi, Hidayetoglu, Kemal Yildirim, and Aysu Akalin, 2012, p. 50). وارتفاع مستويات الإضاءة على الأسطح الأفقية الموجودة بالفراغ يزيد من شعور الفرد بوضوح الأشياء ، كما أن الإضاءة الرئيسية في مركز الغرفة مع بعض الاضاءات على الحوائط يعطى إحساس أيضا بزيادة وضوح الرؤية ، الى جانب استخدام الضوء الأبيض أو الاضاءات ذات الألوان الباردة.

- تعزيز الشعور بالاسترخاء:

ان استخدام اضاءات حائطية غير موحدة (كالأباليك) ، والاضاءات الخافتة ، والاضاءات ذات الألوان الدافئة كلها محددات من شأنها تعزيز شعور الفرد بالاسترخاء داخل الغرفة (Ginthner, 2012, p. 4).

- تعزيز الشعور بالخصوصية :

استخدام اضاءة أقل في الزوايا التي يتواجد بها الأفراد وعدم تسليط الضوء على الأنشطة التي يقومون بها وزيادة الضوء في الأماكن الأخرى يعزز شعورهم بالخصوصية ، كما أن استخدام الاضاءات الغير موحدة (كالأباليك) ، و اضاءات الحوائط يساهم في تأكيد هذا الشعور.

المبادئ التصميمية	التأثيرات العاطفية		
لون دافئ (برتقالي).	الدفع	لون أزرق - إضاءة ساطعة	لون برتقالي - إضاءة ساطعة
تقليل مستوى الإضاءة.	البرودة	لون أزرق - إضاءة خافتة	لون برتقالي - إضاءة خافتة
لون بارد (أزرق).	الامتصاص		
زيادة مستوى الإضاءة.	الحميمية		
زيادة مستوى الإضاءة.	الإثارة		
تقليل مستوى الإضاءة.	الهدوء		
لون دافئ (برتقالي).			
زيادة مستوى الإضاءة.			
لون بارد (أزرق).			
تقليل مستوى الإضاءة.			

شكل رقم (8) يوضح تأثير التغيير في الألوان والإضاءة على الحالة العاطفية

(Asma Naz , Regis Kopper , Ryan P.McMahan and Mihai Nadin, 2017, p. 1:9)

ان الضوء واللون لا ينفصلان، فعملية إدراك اللون في الفراغ الداخلي تعتمد على التأثيرات الناتجة عن تفاعله مع الإضاءة ، كما تختلف رؤية اللون باختلاف نوع الإضاءة وما إذا كانت مباشرة أو غير مباشرة. كما تظهر الإضاءة دافئة أو باردة اعتمادا على الشعور الناتج من إدراكها مع الألوان والفراغ ككل. (Asma Naz , Regis Kopper , Ryan P.McMahan and Mihai Nadin, 2017, p. 3)

- الشكل والعاطفة:

ان الأشكال تعطى انطباعات مختلفة تؤثر على الوجدان، وللتعرف على هذا الأثر يلزم معرفة تصنيف الأشكال كما هو موضح في شكل رقم (٩).

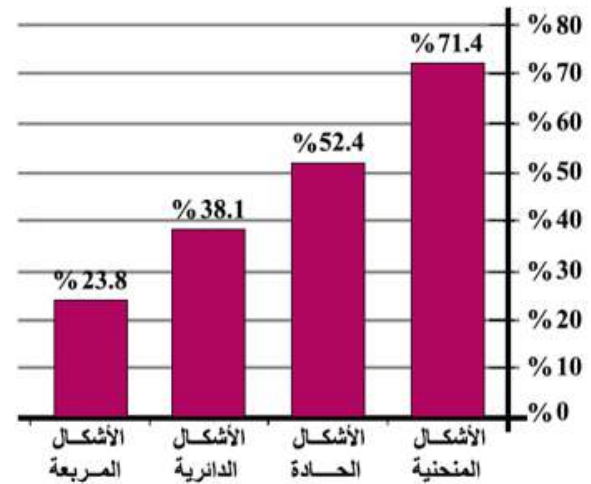
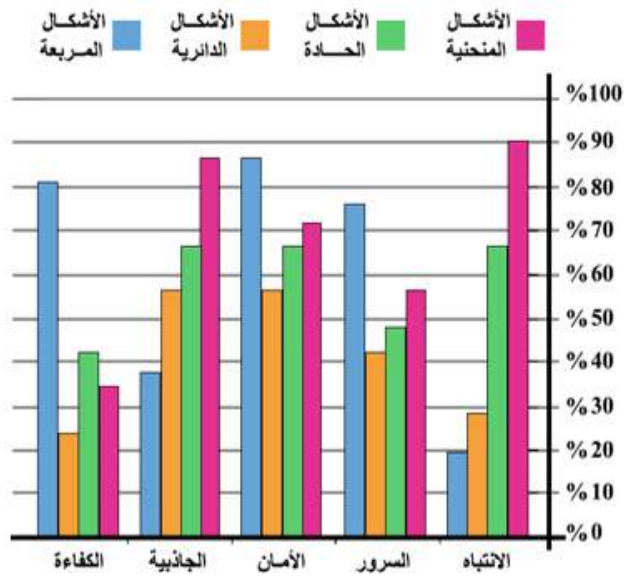
تأثيرات الإضاءة على الشعور بالفراغ الداخلي للمسكن:

1. إثارة العواطف :

ان علم الاعصاب وعلم النفس المعرفي أكدا على وجود علاقة بين الأشكال والحالة العاطفية للأفراد داخل الفراغات المصممة. فسمات الأشكال كالتناظر والتباين والتعقيد والألفة تؤثر على إدراك الأفراد ونوع العاطفة المتكونة لديهم. وقد أظهرت الدراسات تفضيل الأفراد للأشكال المتمثلة أكثر من الغير متمثلة لأنها سهلة الإدراك ، كما يفضل الأفراد الأشكال الدائرية أكثر من الأشكال السداسية ، والأشكال المنحنية أكثر من الأشكال الحادة والمضلعة. كما أن نسب الأشكال لها دور مهم في التأثير على الحالة العاطفية للأفراد فالأشكال ذات المساحات الصغيرة تخلق حالة من الاختناق والتوتر والأشكال ذات المساحات الكبيرة جدا تخلق حالة من الانزعاج (Avishag Shemeshi , Moshe Bar and Yasha Jacob Grobman, 2015 , p. 2:6).

جدول رقم (4) يوضح تصنيف الأشكال و مدى تأثيرها العاطفي على الفرد

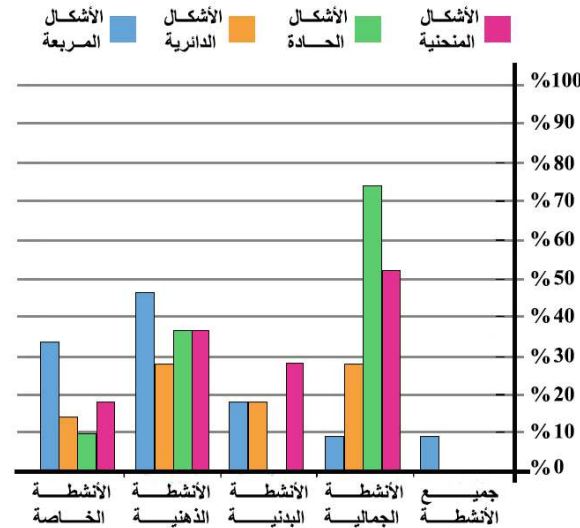
تصنيف الأشكال	التأثير العاطفي
الأشكال الهندسية Geometric Shapes	الدائرة تعطي عاطفة إيجابية متمثلة في الترابط، والتكامل، والأمان والسلامة، والحركة، والقدرة على التحمل، والطاقة، والقوة.
	المربع يعطي إحساس بالصلابة والاستقرار والأمن والعقلانية.
	المثلث يعطي إحساس بالتوتر والصراع والقوة والاتزان.
	الحلزون يعطي إحساس بالإبداع والنمو والتطور (رياض هلال، حامد خضير، 2014، صفحة 106).
الأشكال العضوية Organic Shapes	الأشكال العضوية تعطي تأثيراً إيجابياً على النفس البشرية بمقارنتها بالأشكال الهندسية، والأشكال المنحنية تؤدي الي مشاعر إيجابية والأشكال الحادة تؤدي الي مشاعر سلبية (S. Arin and P. Y. K. Cheung, 2007, p. 68 : 77).
الأشكال المجردة Abstract Shapes	وهي الأشكال المجردة من الأشكال الطبيعية كالحروف والرموز والأيقونات.



شكل رقم (9) يوضح رسم بياني لتفضيل الأفراد للأشكال المختلفة داخل الفراغ المصمم
(Avishag Shemeshi , Moshe Bar and Yasha Jacob Grobman, 2015, p. 7)

شكل رقم (10) يوضح رسم بياني لتأثير الأشكال على شعور الأفراد داخل الفراغ المصمم
(Avishag Shemeshi , Moshe Bar and Yasha Jacob Grobman, 2015, p. 7)

2. تعزيز العواطف الإيجابية :



شكل رقم (11) يوضح رسم بياني لنسب تفضيل الأفراد للأشكال داخل الفراغ المصمم ولانتمها للأنشطة المختلفة

كما أثبتت بعض الدراسات أن الأشكال هي عروض بصرية تنقل المشاعر مثل الغضب والسعادة . و أن الأشكال العضوية تعطي تأثيراً إيجابياً على النفس البشرية بمقارنتها بالأشكال الهندسية ، والأشكال المنحنية تؤدي إلى مشاعر إيجابية والأشكال الحادة تؤدي إلى مشاعر سلبية (S. Arin and P. Y. K. Cheung, 2007, p. 68:77) . وأيضاً يرتبط اختيار نوع الأشكال في التصميم الداخلي داخل المسكن بنوع النشاط الذي على أساسه يتم تحديد مدى التفضيل العاطفي لشكل دون الآخر وفي شكل رقم (11) يتضح التفضيلات العاطفية وتأثيرها بنوع النشاط داخل المسكن .

الأنشطة الخاصة: تحتاج إلى مناخ من الهدوء والعزلة والخصوصية (فراغات النوم ودورات المياه وفراغات الاستجمام وفراغات المطالعة والقراءة).

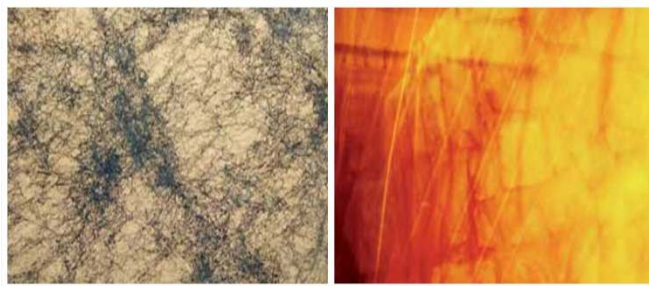
الأنشطة الذهنية: أعمال تتطلب مجهود ذهني وتركيز (فراغات العمل أو المذاكرة والدراسة وفراغ المطبخ).

الأنشطة البدنية: تحتاج مجهود جسدي (فراغات اللعب وفراغات ممارسة الرياضة)

الأنشطة الجمالية: التنوع الجمالي للعناصر الجمالية بالمسكن (جميع الفراغات)

ثانياً المحفزات اللمسية : Touching Stimuli

الملمس هو الشعور بمظهر و تناسق الأسطح ، ويتم إدراك الملمس باللمس المباشر أو بالخبرة البصرية المسبقة المكونة لدى الأفراد من خلال إدراك نوع خامة وشكل ومقاومة السطح . الفراغ مكون من مجموعة من الملامس المختلفة تمتاز معاً وتكون الاحساس اللمسي ، ويتفاوت الملمس بين الخشونة والنعومة اعتماداً على كثافة وحجم واتجاه وعمق جزيئات الخامة المصنوع منها السطح .



صورة رقم (2) توضح عينات تجربة الملمس – الصورة اليمنى (إيجابية) ، والصورة اليسرى (سلبية)

ان الملمس موجود في كل ما يحيط بنا من عناصر طبيعية أو منتجات ، والانسان في احتكاك مباشر معها دائماً . وقد بدأ بعض الباحثين الالتفات الى علاقة العواطف بحاسة اللمس من خلال علم النفس وعلم وظائف الأعضاء. وتوصلت الدراسات الحديثة ان هناك بعض الخصائص أو الملامح اللمسية التي يتفق عليها جميع الأفراد ، على سبيل المثال الصورة رقم (2) أعطى الافراد انطباعات إيجابية ناحية الصورة اليمنى وانطباعات سلبية ناحية الصورة اليسرى. كما توصلت هذه الدراسات إلى أن الملمس يؤثر على التفكير والعاطفة بشكل مباشر (SYNTEX) .

■ الخـاتـمات والعاطفة:

اعتمادا على نوع الخامة ودرجة لونها يتكون الإدراك للمسي لها سواء كان بالخشونة أو النعومة ، الثقل أو الخفة ، البرودة أو الدافء ، الاتساع أو الضيق مكونا مشاعر من الألفة أو النفور. كما أن الملمس الخام للطوب أو الحجر يعطى شعورا أكثر ثراء من الملمس الناعم للجبس الذي يعطى شعورا بالملل , (Asma Naz , Regis Kopper , Ryan P.McMahan and Mihai Nadin, 2017, p. 3).

■ درجة الحرارة ونسبة الرطوبة :

ان الحفاظ على مناخ داخلي مريح بتوفير درجة الحرارة المناسبة والرطوبة المناسبة أمر ضروري لتحقيق الرفاهية . فدرجات الحرارة المرتفعة تسبب الإرهاق والحمول وقلة النشاط ، أما درجات الحرارة المنخفضة تسبب الأرق فتقل نسبة التركيز خاصة في أداء المهام العقلية. ودرجات الحرارة المناسبة للإنسان 21:20 درجة مئوية في فصل الشتاء و24:20 درجة مئوية في فصل الصيف ، ونسبة الرطوبة المناسبة للإنسان 50:40 % ، وذلك لتوفير بيئة داخلية مريحة (Swathi Matta Reddy, Debkumar Chakrabarti and Sougata Karmakar, 2012, p. 1076).

■ ثالثا: المحفزات السمعية Audio Stimuli :

ان راحة الفرد تتأثر بمستوى الضوضاء فانقطاع الضوضاء نهائيا داخل المسكن له تأثير سلبي على العواطف ، كما ان الموسيقى تحفز العواطف الإيجابية ولكن على المستوى الشخصي . كما أن المعالجة الصوتية الغير مدروسة للفراغات الداخلية قد تؤدي الى مستويات ضوضاء غير مرغوب بها فتسبب القلق والإجهاد وارتفاع ضغط الدم. ولابد من الأخذ في الاعتبار ان استجابة الانسان للصوت يعتمد على العمر، وانعكاس الصوت على الأسطح الناعمة والخامات الماصة للصوت فالخامات الصلبة تحدث تردد للصوت أما المواد الناعمة تعمل على امتصاص الصوت فتوفر بيئة داخلية هادئة مثل استخدام خامات معينة في السجاد والأثاث والستائر (Swathi Matta Reddy, Debkumar Chakrabarti and Sougata Karmakar, 2012, p. 1076).

■ رابعا: المحفزات الشمية Olfactory Stimuli :

ان الروائح الموجودة داخل الفراغ السكني عنصر هام جدا في توفير الراحة المكانية للأفراد ، فالروائح الذكية تترك أثر جميل في نفس الأفراد وتجعل لديهم الرغبة في التواجد بالمكان على عكس الروائح الكريهة فتسبب نفور الأفراد منها . كما ان الروائح عنصر مهم في الرابطة العاطفية بين الأماكن والأشخاص وتترك أثر قوى في الذاكرة فعندما يشنق الفرد لمكان ما يشكل له صوره في الذهن ويحاول استكمالها بتذكر رائحة المكان . علاوة على ذلك فان العطور تستخدم في الحد من حالات الإجهاد والاضطرابات النفسية فتوفر أجواء ممتعة وتعطى صفة بيئية طبيعية للمكان (Abdelmoneim., 2005, p. 10). فالعطور تنقل الروائح الطبيعية للأزهار والفواكه وغيرها من النكهات العطرية داخل المكان وكأنها تنقل البيئة الطبيعية الخارجية إلى داخل الفراغ.

■ النباتات والعاطفة:

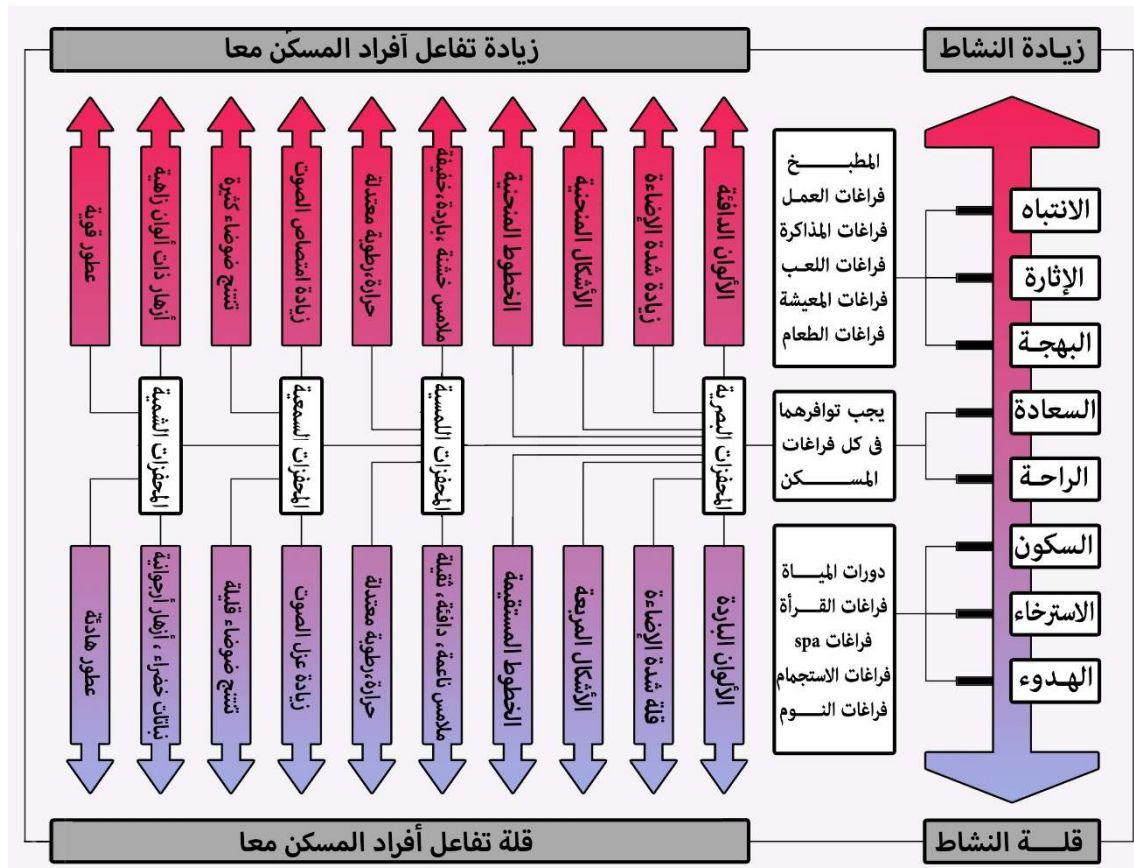
لقد أظهرت بعض الدراسات ان وجود الأزهار بالفراغات الداخلية له آثار إيجابية على عواطف الأفراد خاصة الإناث ، أما وجود أوراق الشجر له تأثير سلبي فيسبب الانزعاج لدى الإناث ولكنه يلقى استحسان عند الذكور . ومن خلال وجه النظر الأشمل فان الزهور تحفز عواطف الاسترخاء وتقلل من التوتر خاصة الزهور ذات العطر الخفيف. كما أن الأزهار الحمراء والوردية تحفز عواطف الاثارة والبهجة ولكن زيادتها تسبب الازعاج فتسبب عدم الاستقرار العاطفي أما الأزهار المائلة للأخضر تعزز الاستقرار العاطفي (M. Adachi, 2000, p. 59: 63). كما أن عدد من الدراسات العلمية أثبتت أن تفاعل الأفراد مع النباتات ينتج عنه ردود فعل عاطفية إيجابية ، وتخلق حالة من الهدوء والاسترخاء . وان النباتات الخضراء والأرجوانية اللون تقلل من معدل الضغط والتوتر مقارنة بالنباتات الحمراء والصفراء والبيضاء (Hassan., 2014, p. 24).

■ الروائح المنبعثة من الخـاتـمات:

يوجد كثير من الخامات المستخدمة في تأسيس وهيكلة الفراغات الداخلية للمسكن لديها روائح تنتج عنها أما في الفترات الأولى من استخدامها أو خلال فترة استخدامها . وعادة تكون هذه الروائح كريهة ، فلا بد من معالجتها أو اختيار خامات بديلة لها . لأنها تجعل الفرد ينفر من المكان وتمثل حاجزا للترابط العاطفي بين الفرد والمكان.

■ آليات التصميم الداخلي المستخدمة لتعزيز العواطف الإيجابية للفرد داخل المسكن:

1. مخاطبة الفرد عاطفيا داخل الفراغ السكني تتم من خلال اثارة حواسه المختلفة .
2. تلبية الاحتياجات الأساسية للأفراد من خلال أعمال التصميم الداخلي داخل المسكن فعدم تلبيتها يؤدي إلى قطع الترابط العاطفي بين الفرد ومسكنه.
3. تحديد المتطلبات العاطفية لكل غرفة داخل المسكن بدقة بما يتناسب مع نوع الاحتياجات والأنشطة الممارسة فيها .
4. توافق العواطف الناتجة عن المحفزات الحسية مع المتطلبات العاطفية المراد تحقيقها داخل فراغات المسكن المختلفة ، حتي يتم إثارة العاطفة المناسبة في المكان المناسب.
5. احداث ترابط وتناغم بين عناصر التصميم الداخلي كي تثير عاطفة محددة ، لأن التشئت يؤدي إلى نتائج سلبية على الصعيد العاطفي .



شكل رقم (12) يوضح خطط لآليات التصميم الداخلي المستخدمة لتعزيز العواطف الإيجابية للفرد داخل المسكن

النتائج :

1. ان خلق بيئة داخلية مصممة تزيد من الانخراط العاطفي للأفراد مع مسكنهم وتحفز العواطف الإيجابية لديهم يستلزم التعرف على ماهية العواطف وانواعها وأسباب تكونها ووردود الأفعال الناتجة عنها وتحليل النظريات المفسرة لها.
2. العواطف سهلة التغير والتأثر بالمحفزات الخارجية التي تولد لدى الفرد مشاعر ينتج عنها رد فعل يمكن ملاحظته وتحديده ، لذا فإن الاختيار الملائم لخصائص المحفزات الحسية لعناصر التصميم الداخلي يُنتج موجات عاطفية مكثفة تكون حالة عاطفية إيجابية تدوم لفترة طويلة.
3. تعمل عناصر التصميم الداخلي كمحفزات حسية بيئية داخل المسكن قادرة على تعزيز العواطف الإيجابية للأفراد.
4. تتميز عناصر التصميم الداخلي بالمرونة لتقديم صياغات تصميمية لا نهائية تهتم بالجانب العاطفي للأفراد وتلائم الاختلاف في متطلباتهم العاطفية .
5. تختلف نوع الاحتياجات العاطفية داخل فراغات المسكن المتنوعة ، وتحديد العاطفة الملائمة المراد إثارتها داخل كل فراغ يساهم بشكل رئيسي في تعزيز العواطف الإيجابية بالمسكن.
6. تعزيز العواطف الإيجابية داخل المسكن له آليات لا بد من اتباعها وهي إثارة حواس الفرد ، وتهيئته للإثارة العاطفية بتلبية احتياجاته الأساسية أولاً، وتحديد نوع العاطفة المراد إثارتها داخل كل فراغ بالمسكن، ثم إعداد صياغة متناغمة بين عناصر التصميم الداخلي لضمان عدم التشتت العاطفي.

REFERENCES

- [1] P.Ekman and R.Davidson,, (1994). *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press (Eds). doi: ISBN 0195089448, 9780195089448, p. 58 .
- [2] Abdelmoneim., W. (2005). Architecture and Human Behavior, Does Design Affect Our Senses? *Journal of The Egyptian Society of Engineers*, p10.
- [3] Andrieş, A. M. (2011, December). Positive And Negative Emotions Within The Organizational Context. *Global Journal of HUMAN SOCIAL SCIENCE, Volume 11(Issue 9)*, p27:33.
- [4] Andrieş, A. M. (2011, December). Positive And Negative Emotions Within The Organizational Context. *Global Journal of Human Social Science, 11(9)*, p28:29.
- [5] Andrieş, A. M. (2011, December). Positive And Negative Emotions Within The Organizational Context. *Global Journal of Human Social Science, Volume 11(Issue 9)*, p28:29.
- [6] Asma Naz , Regis Kopper , Ryan P.McMahan and Mihai Nadin. (2017). Emotional Qualities of VR Space. *IEEE Virtual Reality (VR) conference*, (p. 3). USA. doi:DOL .10.1109/ VR .2017 .7892225,p1:9.
- [7] Avishag Shemeshi , Moshe Bar and Yasha Jacob Grobman. (2015). SPACE AND HUMAN PERCEPTION - Exploring Our Reaction to Different Geometries of Spaces. *20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design*, Hong Kong , Asia , (p. 2:6).
- [8] Cohn, M. A. (2008, “ , Doctor of Philosophy , University of Michigan ,). Positive Emotions: Short-Term Mechanisms, Long-Term Outcomes, and Mediating Processes ,p2:3.
- [9] Committee, t. W. (2016). *PROMOTE HEALTH AND WELL-BEING*. Washington: National Institute of Building Sciences.
- [10] Evans, G. W. (2003 , December). The Built Environment and Mental Health. *Journal of Urban Health, 8(4)*,p 536: 539.
- [11] Ginthner, D. (2012). Lighting: Its Effect on People and Spaces. *informe design, 2(2)*, p 4.
- [12] Hassan., M. A.-s. (2014). *Impact of interior plants on the amelioration of indoor environment*. Chiba, JAPAN: Horticulture Faculty of Agriculture , p24.
- [13] Holtzschue, L. (2012). *Understanding Color: An Introduction for Designers*. Canada: John Wiley & Sons. doi: ISBN 1118005775, 9781118005774 , p57.
- [14] Honey Arjmandi, Mazlan Mohd Tahir, Hoda Shabankareh, Mohamad Mahdi Shabani, and Fereshteh Mazaheri. (2011). Psychological and Spiritual Effects of Light and Color from Traditional Houses on Dwellers. *journal of social science and humanities, 6(2)*, p290. doi:ISSN:1823-884x
- [15] Jokinen, J. P. (2015). *User Psychology of Emotional User Experience*. finland: Academic dissertation , Faculty of Information Technology of the University of Jyväskylä. doi: ISSN 1456-5390; 213,p47.
- [16] Kelly, R. (2011). *Light In Architecture and Psychology of Light ,p17*.
- [17] M. Adachi, C. R. (2000). : “Effects of Floral and Foliage Displays on Human Emotions. *International Human Issues In Horticulture, 10(1)*,p 59: 63.
- [18] M. Lutfi Hidayetoglu, Kemal Yildirim ,and Aysu Akalin. (2012). The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment. *Journal of Environmental Psychology, 31(1)*, p51.
- [19] M. Lutfi Hidayetoglu, Kemal Yildirim ,and Aysu Akalin. (2012). The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment. *Journal of Environmental Psychology, 31(1)*, p50.
- [20] Michele M. TugadeFredrickson and Barbara L. (2002). *Positive Emotions and Emotional Intelligence*. New York: , In L.F.Barrett & Salovey (Eds),p319-340.
- [21] Nurlelawati Ab. Jalil, Rodzyah Mohd Yunus and Normahdiah S. Said. (2012). Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review. *Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies , Procedia - Social and Behavio*. Nortn Cyprus: Elsevier , p. p54:60.
- [22] Rosella Tomassoni, Giuseppe Galetta and Eugenia Treglia. (2015). Psychology of Light: How Light Influences the Health and Psychology. 6, p1217: 1219. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4236/psych.2015.610119>
- [23] S. Arin and P. Y. K. Cheung. (2007). *A computation method for video segmentation utilizing the pleasure-arousal-dominance emotional information*. ACM MM,p68:77.
- [24] Stephen P. Robbins and Timothy A. Judge. (2013). : “*Organizational Behavior 15 edition* “. USA: Pearson Education, Inc. doi:ISBN-13: 978-0-13-283487-2 , ISBN-10: 0-13-283487-1,p100
- [25] Swathi Matta Reddy, Debkumar Chakrabarti and Sougata Karmakar. (2012). Emotion and interior space design: an ergonomic perspective. *Work Journal, 41*, p1076.
- [26] SYNTAX. (n.d.). *Measuring the feelings and expectations associated with texture*. European Commission. Retrieved from <http://ec.europa.eu/research>
- [27] TA Bedrosian and RJ Nelson. (2013). *Influence of the modern light environment on mood*. The Ohio State University Wexner Medical Center, Molecular Psychiatry. USA: Macmillan Publishers Limited,p752.

- [28] Visser, M. K. (October 2009, October). A framework for empathy in design: stepping into and out. *Journal of Engineering Design*, Vol. 20(No. 5).
- [29] أسيل عبد السلام عبد الرحمن ، علاء الدين كاظم الإمام. (2009). التصميم الداخلي بين الذاتية والموضوعية. *مجلة الاكاديمي*، 52 ، صفحة 155.
- [30] رياض هلال ، حامد خضير. (2014). : " الأبعاد الجمالية للشكل الهندسي في الفن البصري - فازاريللي... نموذجاً. *مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية* 1، 4(1)، صفحة 106.
- [31] زينب شقير. (2005). *مقياس الأمن النفسي (الطمأنينة والانفعالية)* (الإصدار الطبعة الأولى). doi:ISBN : 977-200-479-8 ، صفحة 7:6.
- [32] طارق عابدين. (2012). قراءة الصورة التشكيلية بين الحقيقة والإيحاء. *مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية*، 1 ، صفحة 112.
- [33] على رأفت. (2007). *البيئة والفراغ ، ثلاثية الابداع المعماري*. القاهرة: مركز ابحاث انتر كونسلت ، صفحة 131.

العدالة اللغوية في المجتمع المغربي: مقارنة مفاهيمية وتحديد للإكراهات وسبل التطوير

[Linguistic justice in Moroccan society: The concept, ways of development]

عبدالإله فطيش و نادية العمري

مركز دراسات الدكتوراة: الإنسان – المجتمع – التربية،
كلية علوم التربية- جامعة محمد الخامس الرباط

Abdelilah Ftaich and Nadia El Omari

CED: Homme – Société – Education, Faculté des Sciences de l'Education, Université Mohammed V, Rabat, Maroc

Copyright © 2018 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 deals with the concept of linguistic justice in relation to the theoretical references framed by it and its relation to linguistic policy and the issues of multilingualism, the article is part of the sociology of linguistics which draws on the linguistic, political, economic and legal sciences and aims to crystallize the concept of linguistic justice and its applications in policies language.

The idea of linguistic justice is new to Arab culture to a large extent; including Morocco in particular. This article attempts to crystallize this concept and incorporate it into the context of sociology and to show the application of justice to linguistic issues, which will necessarily address concepts such as language policy and multilingualism the main purpose of this article is to present the linguistic situation in order to approach linguistic justice in its roots, problems and virtual solutions.

KEYWORDS: language policy, linguistic justice, language, multilingualism.

ملخص: شغلت مسألة العدالة الفلاسفة والمفكرين والقادة السياسيين والحكماء منذ بداية التاريخ الإنساني. غير أن مفهوم العدالة اللغوية راح يفرض نفسه على التفكير والمفكرين منذ فترة ليست بالبعيدة. بعد أن تمكن مفهوم العدالة الثقافية، أي "أولوية الحقوق الثقافية" من أن يصبح حقلا مهما من حقول علم الاجتماع البشري وبهذا المعنى. فإن فكرة العدالة اللغوية جديدة على الثقافة العربية إلى حد كبير ومنها المغرب على وجه الخصوص. وهذا المقال محاولة لبلورة هذا المفهوم وإدراجه في سياق علم الاجتماع اللغوي. وإظهار تطبيقات العدالة على القضايا اللغوية، الأمر الذي سيؤدي بالضرورة إلى تناول مفاهيم مثل الحقوق اللغوية والتسامح اللغوي وغير ذلك من المفاهيم المجاورة. ثم إن الغرض الأساسي من هذا المقال هو عرض الوضع اللغوي في المغرب في سبيل مقارنة العدالة اللغوية في جذورها ومشكلاتها والحلول الافتراضية لها.

كلمات دلالية: السياسة اللغوية، العدالة اللغوية، المنظومة التربوية، اللغة، التعدد اللساني.

مقدمة:

قد يكون مفيدا القول في هذا الاستهلال إن معالجة موضوع العدالة اللغوية ليس أمرا سهلا بسبب حداثة المصطلح. تداولوا واستعملوا، أو من حيث المفهوم الذي لا يزال يكتنفه بعض اللبس والغموض.

لكن على الرغم من حداثة المصطلح وجاذبيته، يدرك الباحث بدهاء أنه قابل للتدريس والتحديد فالمتمعن يرى في موضوع العدالة في بعده الاجتماعي والأخلاقي، أنه شغل منذ القدم الحكماء والفلاسفة، فنناوله الإغريق ضمن فلسفة العدالة، وخصوصا بعد أن تخطى الإنسان المرحلة الفطرية الطبيعية ودخل الحالة المدنية أو ما يعرف بالحالة الاجتماعية بحسب نظريات العقد الاجتماعي وعلم الاجتماع السياسي، غير أن المفكرين لم يهتموا بالعدالة اللغوية أو بوضعيتها المخصصة أو المطبقة على اللغات إلا حديثا.

يبدو أن الفلاسفة والسياسيين اشتغلوا بمسألة العدالة الثقافية، أو بأولوية الحقوق الثقافية، قبل مصطلح العدالة اللغوية. ولهذا يمكن القول إن مسألة اللغات كانت تعالج دائما في الخطاب العام الذي يتناول مفهوم الثقافة.

من هنا نشير إلى أن طرح موضوع العدالة اللغوية جديد على المنظومة الثقافية المغربية، من المنظور الفلسفي والقانوني والفكري، فهو في مرحلته الجنينية، ولا نبالغ إذا أكدنا أنه لا يزال في طور التبلور والتكون حتى في الثقافات الليبرالية الغربية ذاتها. فالمصطلح لم يرد عربيا إلا في كتابات ضئيلة، تدور في كليتها حول تشريح الواقع اللغوي وإفرازاته السوسيوثقافية. كما يمكننا القول إن موضوع العدالة اللغوية لم يحقق إلى الآن، ولم يعرف تراكما معرفيا نظريا كبيرا بالصورة التي عرفتها مجالات معرفية معاصرة أخرى في ظل العولمة وتطور التقنيات المعلوماتية¹.

لهذا، علينا في هذا المقام بسط مفاهيم العدل والعدالة واللغة لندارسها، وإظهار العلاقات القائمة بينها، وممارستها في المجتمعات التعددية، كي يتسنى لنا تجاوز بعض التعريفات الكلاسيكية لتلك المصطلحات التي لا شك في أنها أوسعت بحثا وأشعبت تحليلا عبر العصور المتعاقبة.

يفيد هذا ضمنا أننا سنبرز تطبيقات العدالة على المسائل اللغوية، الأمر الذي يتطلب بالضرورة التطرق إلى مفاهيم مجاورة أو محابطة تنمهي معها، كالحقوق اللغوية والمواطنة اللغوية والتسامح اللغوي...، وهي مصطلحات أصبحت تطفو على سطح الثقافة المعاصرة ومعارفها، فضلا عن البحوث اللسانية الاجتماعية والقانونية والتعددية الثقافية والاقتصادية، لارتباطها بمجالات الحياة المختلفة.

يمكن إجمال الأسئلة الإشكالية المرتبطة بهذا المقال في الآتي:

- ✓ ما مدى تجسيد مبدأ العدالة اللغوية في الواقع، وكيف نسوي بين لغات متباينة في قدرتها وأهليتها لاستيعاب جميع مستجدات الحياة في مختلف مناحيها ؟
- ✓ أليس من المفارقة، في زمن العولمة الذي تركز فيه هيمنة لغوية أحادية على العالم قاطبة، أن تنادي النخب بالتعدد المؤدي إلى التمزق بدلا من الالتفاف حول لغة عربية قوية تمتلك من أسباب المنعة ما يؤهلها لتحدي الهيمنة اللغوية المعولمة ؟

أولا: تعريف مصطلح العدالة اللغوية

ساد العرف بين الدارسين، واقتضت صرامة المنهج العلمي أنه حين يضطلع الباحث بقضية ما، أو يسعى إلى إبراز ظاهرة كيفما كانت طبيعتها، أن يحدد أولا المفاهيم التي تحيل إليها المصطلحات المفتاح، لإيضاح الرؤية وتبديد ضبابية المسار، ومن ثم يتجلى تصور المفهوم ومحتواه وعناصره.

يقول ابن منظور: "إن العدل هو ما قام في النفوس أنه مستقيم" ويقابله في اللغة الفرنسية كلمة justice، وتعني التقدير المنصف والاعتراف واحترام الحقوق وما يستحقه كل فرد، وهو ما يؤدي إلى إعطاء المرء ما له وأخذ ما عليه، أي إن العدل "هو إعطاء كل ذي حق حقه، أو وضع الأمور في مواضعها الحق" (ابن منظور، 2009)².

إذا العدل يعني تمكين أصحاب الحقوق من حقوقهم، لأن الحقوق معرضة للاعتداءات والانتهاكات والخصومات، لكونها مرتبطة بحماية الذات الإنسانية، ولذلك ندرک أن إقامة العدل ليس أمرا هينا، لما يكتنفه من ملايسات الاجتماع، ولما لأحواله من انعكاسات عليها. فإذا كانت العدالة تعني في استعمالها المتداول والشائع بين الناس الوقوف على مسافة واحدة تجاه أفراد المجتمع، من دون تحيز لطرف على حساب آخر، وفق قواعد ومبادئ مقررة سلفا، وهي كناية عن تكافؤ الفرص في توزيع الدخل والثروة، ومقاومة جميع أشكال التفاوت الطبقي، والاستغلال والفقر والتمييز، وتنمية علاقات التضامن والتكافل بين أبناء الوطن، فربما لا يستثني هذا الوصف العدالة اللغوية التي نحن في صدد تحليلها.

إن ما يهنا من مفاهيم العدالة في هذا المسعى هي تلك التي تركز على الحقوق الجماعية للمجموعات اللغوية الثقافية من منطلق أن العدالة هي "نمط من العلاقات الاجتماعية أو السياسية يتم بموجبه معاملة كل شخص أو جماعة على أساس المساواة، وذلك استنادا إلى منظومة القيم السائدة في المجتمع".

بناء على ذلك، وجب التمييز في الحقوق اللغوية بين الحقوق الشخصية المتعلقة بالأفراد والحقوق الجماعية التي تعود إلى مجموعات إثنية أو قومية تعيش في ظل دولة واحدة. ومن ثم مازال المتخصصون يجدون في المجال القانوني صعوبات في جعل الحقوق اللغوية فرعا مستقلا بذاته ضمن التخصصات القانونية والسياسية، لذلك هم يقاربون هذه المادة بمفاهيم قانونية اعتادوها وفي مقدمتها حقوق الأقليات التي تتضمن الحقوق اللغوية أيضا، ما يدفعنا إلى القول إن العدالة اللغوية هي أدوات إشاعة العدل بين الأفراد، وهي الآلية التي يتحقق بها العدل بين اللغات التي تؤسس المشهد العام لدولة ما، عبر تبني سياسة لغوية تعددية تعترف بحق كل جماعة لغوية التعاطي بلغتها، إن في الحيز الجغرافي الذي تشغله داخل الدولة – الأمة المعاصرة أو على امتداد وجود الناطقين بها، على أساس من المواطنة اللغوية التي تعني "التوزيع الثقافي واللغوي لأفراد المجتمع على قاعدة الاعتراف بالمساواة في الحقوق والواجبات، وعلى أساس تعاقد ثقافي-لغوي بين الدولة والمواطن".

إن من الأوائل الذين تعرضوا لمصطلح العدالة اللغوية وأشاعوه في حقل الدراسات الفلسفية السياسية هو فيليب فان باريس P. van Parijs³، لينطلق بعد ذلك إلى قطاعات معرفية مجاورة، وكان يرى أنها تقوم على دعائم هي:

- الاعتراف بالتنوع اللغوي داخل حدود الدولة، والتأكيد الرمزي للمساواة بين اللغات.
- تبني لغة مشتركة تحقق التواصل بين جميع مواطني الدولة أطلق عليها باريس "اللغة الوسيطة" "lingua franca".
- امتلاك مواطني الدولة المقيمين في أقاليم الأقليات الشجاعة والتواضع لتعلم اللغات المحلية المرسمة وفق مبدأ الجهوية في تلك الأقاليم.
- تبني مبدأ الجهوية اللسانية "Principe de la territorialité linguistique" الذي يقوم أساسا على الاعتراف بحق كل جماعة لغوية في استخدام لسانها داخل حدود إقليمها.

حاول فان باريس في ملفه linguistic justice for europe and for the world الذي أعده لهذا الغرض، تبيان صور انعدام العدالة ذات الصلة بالتنوع اللغوي، ومن أهمها هيمنة اللغة الانجليزية في أوروبا، وفي العالم كما قدم مجموعة من المبادئ رأى أنها قابلة للتطبيق، وكفيلة بتحقيقها. كما ناقش المسألة من منطلق أن العدالة اللغوية المقصودة هي عدالة تشاركية، وتوزيعية يراد بها حفظ الكرامة بالمساواة بين اللغات، وهو ما يؤدي إلى:

¹ - الفاسي الفهري عبدالقادر، اللسانيات المقارنة و اللغات في المغرب، إصدار كلية الاداب و العلوم الانسانية بالرباط.

² - ابن منظور، محمد بن مكرم بن علي. لسان العرب. بيروت: دار صادر 1989

³ - Parijs, Philippe van, justice for Europe and for the world. Oxford: oxford university press 2011.

- ✓ إدارة الشأن اللغوي المتنوع في المجتمع بسلاسة وانسيابية وبحكمة وموضوعية حتى لا تثار حساسية بين المركز والهامش.
- ✓ الاعتراف بالآخر بما يمثل من مغايرة واختلاف، من أجل اجتثاث بؤر التوتر من جذورها، وما ينبغي الإشارة إليه هو أن هذا الاعتراف بالآخر واعتماد حقوقه يجب عدم التعامل معها بأنهما "تسويات خاصة أو مؤقتة لمشاكل معينة"، بل لا بد من اعتباره "التزامات وحقوقاً أساسية" مطلوبة لتحقيق العدالة في جوهرها، لا البحث عن دواعي الاستقرار فحسب.
- ✓ شيوع الاستقرار في المجتمع، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على التنمية الشاملة للدولة – الأمة (Parijjs, Philippe van. 2011).

تكلمة لهذا البسط المفاهيمي، وجب طرح مفهوم اللغة بمنأى عن التعريفات التي ركزت على أنها وسيلة الاتصال المثلى التي تعبر عن الهوية الخاصة، باعتبارها ليست التعبير عن الوجدان، الذي يدخل في مفهوم المثالية، وإنما هي الوجدان نفسه فعلى الرغم من أهمية هذا الطرح، تبقى أوسع من كل حد حاول تأطيرها فهي "بيت الكائن البشري، فيها ينظم أمور معاشه ويخزن رموزه وثوراته، إنها تؤويه وتحفظ أسرارها ومنها يرى العالم ويدركه".

مفاد ذلك أن اللغة تحمل في معجمها ونظامها الصوتي ونحوها تاريخ المجموعة التي تنطق بها وعلاقاتها بالمجموعات الأخرى، وطبيعة هذه العلاقات ومكانة الناطقين بها بين التقلات الجغرافية والنشاط الحيوي. فهذا كله يترك أثراً وبصمات في اللغة التي هي المصدر الأول لامتلاك المعرفة والتحكم بها استثماراً وتحويلاً، ومحدد مهم في تحديد هوية الفرد.

ثانياً: المرجعية الفلسفية للعدالة اللغوية

لو حاولنا تحديد الإطار الناظم لفكرة العدالة اللغوية، لوجدناه يسترشد مرجعيته من حقول معرفية عديدة، تعود في مجملها إلى العلوم الإنسانية والاجتماعية، كما سنلاحظ أن اهتمام السياسيين بمسألة العدالة والحقوق اللغوية للجماعات التي تعيش في فضاء الدولة الواحدة الحديثة العهد يعود إلى تسعينيات القرن الماضي والعقد الأول من الألفية الثالثة، فهذه المسألة لم تحظ بهذه العناية إلا بعد نزاعات كثيرة ذات منشأ لغوي في مناطق عديدة في العالم، إذ اقترن البحث عن التجانس اللغوي عادة بإنشاء الدول القومية بعد زوال الظاهرة الاستعمارية، ومن ثم بدأ هذا الاهتمام يتبلور في نظرية سياسية تعنى بتدبير الشأن اللغوي، وفق رؤية ديمقراطية تعددية تعترف بالتنوع وتصور وحدة المجتمع والدولة معاً.

إضافة إلى ما سبق فإن الطروحات التي قدمت في شأن مسألة التنوع اللغوي، والمقترحات التي حاولت حل مشكلاته من أجل تحقيق الانسجام والتناغم داخل الدولة- الأمة، تندرج ضمن نسق أعم وأشمل أطلق عليه مصطلح تيار ما بعد الحداثة، وهو يهدف إلى تجاوز ما اصطلح عليه وضعية الأثرية – الأقلية التي تمخضت عنها عمليات بناء الدولة الحديثة، والانتقال إلى وضعية المواطنة المتعددة اللغات والثقافات، وهي المواطنة التي أسست فيها العدالة على دعامتين: الحرية والمساواة في الحقوق اللغوية الثقافية، الفردية منها والجماعية لجميع مواطني الدولة.

لكن مثل هذا التصور يبقى في الأغلب نظرياً، لأن المنافسة بين الكيانات اللغوية في المجتمعات تبقى واقعا لا يمكن إخفاؤه أو إنكاره، هنا تتحول السياسة اللغوية إلى فلسفة يتم إعمالها لتحقيق التوازن بين الجماعات اللغوية المتنازعة، إذ يمكن لهذه الفسيفساء اللغوية والقومية، في ظل غياب العدالة الاجتماعية (اللغوية) والوعي الحضاري والوحدوي، أن تكون عاملاً من عوامل تهديد الأمن القومي وزعزعة الاستقرار (Tollefson, J. 1991).

عرف العالم بدءاً من منتصف القرن العشرين تنامياً لنضالات الشعوب والأمم المقهورة التي كانت تبتغي التخلص من رواسب الاستعمار وتبعاته، فنجح عن ذلك بالضرورة تبني سياسات وطنية تتوخى التخلص من التخلف في مختلف الميادين، وتحقيق العدالة الاجتماعية المغيبة في الحقبة الاستعمارية، ومنها إحلال اللغة الوطنية محل لغة المستعمر في تسيير شؤون الدولة، وأدى تبني لغة بعينها إلى مطالبة باقي المجموعات التي يتكون منها كيان الدولة المستقلة بأن يكون للغات حضور رسمي، بمنأى عن النزعة الفولكلورية، والاحتفاء بها بوصفها مجرد موروث تقام له المهرجانات، ما يعني أن التعددية اللغوية تصبح طريقة للحياة والتفكير وليس مجرد سبيل للاحتفاء بالتنوع الثقافي.

يمكننا أن نضيف إلى ما سبق، توالي صدور النصوص والمواثيق الدولية تباعاً من الهيئات الأممية خصوصاً من منظمتي الأمم المتحدة واليونسكو التي عملت على تشجيع تكريس سياسات لغوية تعددية عادلة، تحمي بموجبها لغات الشعوب الأصلية والأقليات الإثنية والمهاجرين.

بل إن نصوصاً كثيرة ربطت بين التنوع اللغوي والتنوع البيئي، وعدتاهما في مرتبة واحدة من الأهمية، إذ يتضح أن الضياع المتوقع لكثير من اللغات سيضر بجميع أنواع التنوع، وليس التنوع الثقافي فحسب، ومن حيث هو تعدد وثرأ لوجهات النظر عن العالم والنظم الفلسفية، كما سيضر بالتنوع البيئي والإيكولوجي، إذ تبين الأبحاث بصورة متزايدة وجود صلة بين تآكل التنوع اللغوي وتآكل المعرفة بالبيولوجي.

كما تجد هذه الأفكار صدى لها ضمن إطار فلسفي عام عرف بالعدالة التوزيعية "la justice distributive" التي أسست على مقولة لأرسطو ترى أن الشر أنتجته سوء التوزيع، وبالتالي يؤدي التوزيع دوراً أساسياً في استقرار المجتمعات المتقدمة، وهو يشمل جميع المجالات التي تحسن حياة الإنسان وكرامته، وخصوصاً التوزيع في المجالين السياسي والاجتماعي.

أما العدالة التوزيعية فهي قوام العدالة الاجتماعية التي أضحت ينظر إلى العدالة بموجبها أنه نظرية سياسية لا فلسفة أخلاقية، وذلك بفضل البصمات التي أضافها جون راولز "J. Rawls" والإثراء الذي قدمه ويل كيمليكا "W. Kymlicka".

اكتسب الحوار في شأن العدالة الاجتماعية وواجبات إعادة توزيع الثروة أهمية في جوانبه الفلسفية والسياسية والاقتصادية والاجتماعية، وهو أمر طبيعي في تقويم الإمكانيات التي تؤسس للتدخل الذي تنتقد به التوزيعية في سبيل مساعدة الأقليات اللغوية. كما أن فكرة العدالة تنطلق لدى رولز من التراث الفلسفي الذي خلفه جون لوك و جان جاك روسو و إيمانويل كانط، بالدعوة إلى إحياءه بعدما تلاشى وتوقف العمل به منذ عام 1800، وهو لا يركز على فكرة تبرير وجود الدولة، وإنما يعمل على تبرير فكرة توزيع المنافع والأعباء.

4 - Tollefson, J. (1991). *Planning language, planning inequality*. London, UK: Longman.

5 - رولز، جون. العدالة كإصاف: إعادة صياغة. ترجمة حيدر حاج اسماعيل بيروت، المنظمة العربية للترجمة، 2009.

6- كيمليكا، ويل. أوديسا التعددية الثقافية. سبر السياسات الدولية الجديدة في التنوع. ترجمة إمام عبدالفتاح إمام. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، 2011. (علم المعرفة، 378).

تعد نظرية الحقوق الثقافية التي عرضها ويل كيمليكا الأكثر أهمية، وهي التي تبنى فيها مقاربة تحاول الإجابة عن غياب العدالة الثقافية أو الظلم الثقافي، إذ يرى أن من البديهي حين تقويم الأسس المعيارية لحماية الألسنة أن يتم تناول قضية العدالة اللسانية من خلال نظريات العدالة. (كيمليكا، ويل، 2011)

و تجدر الإشارة هنا إلى أن من رافعات السياسة اللغوية إيجاد خطة لتنظيم استعمال اللغات الموظفة، بتحديد واضح لوظائف اللغة الرسمية المشتركة، وتحديد أدوار اللغات ذات البعد الهوي، ووظائف لغات الانفتاح درءا للمواجهات أو فك الاستقرار. والمعروف والمتداول في هذا السياق هو أن تلك السياسة اللغوية تكون وليدة مشروع مجتمعي، وليدة الكيفية التي يحدد المجتمع بها مستقبله. ارتكازا على المؤسسات التي تتوافر له، ولابد من أن تستند هذه السياسة إلى مبادئ الهوية الثقافية الوطنية الشمولية، والتنوع الإثني/ المحلي أو الجهوي، وعالمية التقدم والمعرفة، وهو ما يقصد به تعلم اللغة الأجنبية التي ينبغي ألا تصبح انسلخا عن الهوية، وإنما وسيلة من وسائل نقل المعرفة وإفادة الفكر الذي لم يعرف كيف يستفيد من جميع ما يعج حوله، على الرغم من أن له النموذج في تراثه.

ثالثا: التعدد اللساني و العدالة اللغوية

سيجد المحلل لمكونات المجتمعات وتشكيلاتها البنائية المختلفة، إن من حيث إنشيتها أو من حيث انتماءاتها أو غير ها، أنه يصعب العثور على مجتمع يتصف بأحادية مطلقة، كما يصعب أن نجد دولة أو مجتمعا يتحدث بلغة واحدة، ذلك أن التعدد اللغوي أمر واقع وسمه من سمات جميع المجتمعات، وعلى كل سياسة لغوية رشيدة أن تعمل على تأكيده وتهذيبه وتوجيهه بدلا من محاربته.

على الرغم من أن التعدد في أغلب المجتمعات البشرية سمة من سمات المجتمع الحي إذ برزت أنواع شتى من مظاهر التعدد اللغوي المتداخل الذي يتسم بالاستقرار والديمومة، فإنه يبدو في أحيان أخرى هش الجانب ومحدود الأجل بسبب الاحتكاك المولد للصراع اللغوي. ومن أبرز نتائج الاحتكاك اللغوي الذي ينشأ بين المجموعات اللغوية، تبني أو فرض استخدام إحدى اللغات على كثير من المتكلمين بلغات أخرى.

لا شك في أن سياسة الإملاء والضغط هذه، أكانت نتيجة متوقعة لسياسة لغوية مخطط لها سلفا أم حتمية أملت لها عوامل اجتماعية طارئة أخرى، فهي تورث جملة من التحديات التي تهدد سلامة البنية الاجتماعية، وهو ما أضحي حقيقة مصدر قلق حقيقي لكثير من الناس. وبات يتطلب سياسة لغوية رشيدة تضع في رؤاها وحساباتها واستراتيجيتها عدالة لغوية تراعي حقوق المجموعات اللغوية واحترام اللغة المشتركة التي تتبناها الدولة (Cooper, R. 1989).

لذلك، لو كان ثمة تفاضل، لما كان هناك اختلاف بين الألسن بعد سنة في خلقه، إذ قال تعالى "ومن آياته خلق السماوات والأرض، واختلاف ألسنتكم وألوانكم إن في ذلك لآيات للعالمين". فالتعدد اللساني يعني تعايش نمطين من الأداء داخل سياق اجتماعي واحد، لهذا السبب نجد اليوم انبعاثا كبيرا للهويات اللغوية، إذ نلاحظ محاولات كثيرة و شجاعة لمواجهة تحدي الأحادية اللغوية التي تبشر بها العولمة، والتي لا تعني هيمنة اللغات الغالبة، وإنما هي في النهاية هيمنة النموذج الثقافي المخزن في رموز الاتصال.

لذا، نميل إلى تعريف التعدد اللغوي بأنه مجموعة لغات موجودة في مجتمع مختلف النظام والبنية، عاشت جنبا إلى جنب واستعملتها مجموعة معينة، وكان أن حدث ذلك التعايش إما طبيعيا وإما بفضل احتكاك أو استعمار، أو جميع ما يؤدي إلى بروز أكثر في الاستخدام داخل المجتمع. هكذا فالموقف اللغوي الأحادي غير المتزن يتسبب بردات فعل تذهب إلى حد اتخاذ مواقف في الاتجاه المعاكس، كما لا بد من أن نشير إلى أن التعدد سمة الوحدة وجمع الشمل، وليس مشروعا لتمزيق جميع مكونات المجتمع التي تنعكس على نسيجه.

تخيل اللساني ديفيد كريستال "D. Crystal" الزمن الذي ستهيمن فيه اللغة الإنجليزية على العالم أجمع، وتحول فيه إلى لغة التواصل الوحيدة، وخلص إلى أن هذا سيكون أكبر كارثة تعرفها البشرية عبر التاريخ، الغريب هو أن مسألة انقراض اللغات لا تعني اختفاء جهاز اتصالي فحسب، وإنما تدل على انقراض أمة وضياع ثقافة، وضياع معطيات لعلماء النفس ومتخصصين يهتمون بالعلاقة بين اللغة والفكر، وبالتالي يكون في ذلك ضياع لأداب المجموعة المتكلمة، وجميع ما يعطينا فكرة عن تجاربهم في حياتهم وتصورهم للعالم (Spolsky, B. 2004).

هكذا، فكل لغة تموت تحرمانا من اكتشاف نسق محدد ومخصوص من منظمات العقل البشري حيث تتوالج المقومات اللغوية والنفسية والإدراكية، لأنها تحمل في ثناياها سمات وخصائص فريدة من نوعها ونادرة مقتطفة من زخم الإرث الإنساني ومن هنا تعد ظاهرة ضياع اللغة من المظاهر التي لا تختلف كثيرا في واقعها عن انقراض الحيوانات وفصائل نادرة من الطيور أو النباتات.

لكن الإشكال الذي يطرحه هذا الفهم للغة والعدالة اللغوية ميدانيا هو في صعوبة تحقيقه إجرائيا، نظرا إلى التفاوت الحاصل بين اللغات في جوانب متعددة، إذ يتعلق الأمر بعدد الناطقين بكل لغة من هذه اللغات، ومؤهلات كل منها، ومدى قدرتها على استيعاب التطورات العلمية والاجتماعية وإعادة تمثيلها، والإرث التاريخي الذي يحمله بعضها، وما له من رصيد يعمل على تعزيز قدرتها على مواجهة التحديات الحضارية الحالية، لأن قوة اللغة هي من قوة الناطقين بها.

على الرغم من ذلك، تكون هذه التساؤلات عائقا وعقبة أساسية وفعلية في وجه العدالة اللغوية المنشودة في المجتمع المعين والمحدد، كما أن التجارب العالمية الرائدة في عالمنا المعاصر أظهرت كثيرا من الثغر التي ظلت ترافق تطبيق هذه العدالة على نحو ما أفيناه في سويسرا وكندا وبلجيكا وروسيا وتركيا وإسبانيا وغيرها.

لذا، على الرغم من وفرة النصوص القانونية المنظمة للفضاء اللغوي في هذه الدول، فإن هيمنة لغة واحدة على اللغات الأخرى بقيت واقعا معيشا لا يمكن إنكاره، وهي قضية تحيلنا إلى إشكالية العدل في منطقاته ومبادئه.

رابعا: السياسة و العدالة اللغوية

يقصد بالسياسة اللغوية القوانين الرسمية التي تخطط لتهيئة لغة معينة في مجتمعات متعددة اللغات، فتجعل من لغة معينة لغة رسمية بقوة القانون والدستور، لكن السؤال المطروح: ما العلاقة بين السياسة اللغوية والعدالة اللغوية؟

لا شك في أننا نلفي العلاقة بينهما وثيقة، لأن المجتمع المتعدد اللغات قد تهيم فيه لغة على أخرى من دون وجود قانون أو حماية قانون جائر، فتتقدم المساواة، وبالتالي تضطهد أقلية اجتماعية أو تشعر على الأقل بالحييف والظلم لأنها محرومة من ممارسة لغتها التي جبلت عليها، ويؤدي إحساس جزء من المجتمع بالخلل إلى

⁷ -Cooper, R. (1989). *Language planning and social change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

⁸ Spolsky, B. (2004). *Language policy*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

عرقلة مساره التنموي، بسبب عدم وجود تكافؤ فرص في تعلم لغات المجتمع أو الشعور بتهميش واحدة منها تتكلم بها فئة فيه، أو لم تأخذ مكانة تستحقها، ما يجعلها تطلب من السلطة التدخل، وتكافح في أغلب الأحيان من أجل لغتها. فوجود لغتين أو أكثر في مستويين متناقضين أو وجود إحداها في مكانة أرفع، قد يدفع السلطة السياسية إلى السعي للبحث عن التوازن اللغوي أو العدالة اللغوية (الفاسي الفهري عبدالقادر، 2013).⁹

سيطلب ذلك وضع سياسة لغوية يكون أساسها تدبير الشأن اللغوي ومعالجته في الدولة الوطنية لإقرار لغة مشتركة يتواصل بها الجميع، فتكون حاضرة في مؤسساتها المختلفة، ويعمم استعمالها مع مراعاة التكملة الأخرى ضمن المجتمع الواحد، ليحافظ هذا المجتمع على وحدته وكيانه طوابعية وعن اقتناع، ومن دون محاولة الدعوة إلى غير ذلك، حتى لا تكون ظلما لبعض مكونات المجتمع وبعض هياكله ومؤسساته. من هنا نقر بأن التدبير اللغوي في ضوء العدالة اللغوية لا يعني التفريط باللغة المشتركة التي يفترض أن تتقبلها الأوساط السياسية والاقتصادية والاجتماعية والثقافية.

بناء على ذلك، تعتمد السياسة اللغوية إلى وضع برامج أو مشاريع وقوانين، للغات المجتمع حتى لا ترتقي أو تتطور إحداها على حساب الأخرى، ويضاف إلى هذا أن المجتمع المتعدد اللغات يحتاج إلى تحديد العلاقة بين اللغات المتكلمة فيه، أي اللغة المشتركة والرسمية والوطنية ولهجات ولغات أجنبية أخرى.

كما تهدف السياسة اللغوية إلى تكوين الواقع اللغوي بصورة تلائم الحضارة الحديثة والنظم الجديدة، والتخطيط لبناء العلاقات المنشودة في الدولة وعلاقاتها بالعالم وبالأخر، ويكون من أهدافها تقليل التناقضات وتيسير الاتصال والتواصل داخل الدولة أو بين المجموعات اللغوية. ولاشك في أن هذه السياسة سترسخ العدالة بين الجماعات اللغوية المختلفة، وتحد من اختلافاتها وصراعاتها قبل أن توجد، وحتى إن وجدت. كما أنها تهدف إلى استخدام لغتين أو أكثر بالمساواة في جميع المجالات، أو اقتصار ذلك على لغة محددة. ويكون هذا التحديد واضحا بنصوص قانونية تحدد اللغة ما استخدامها في المجالات المجتمعية المتعددة.

في المقابل، فإن تبني سياسة لغوية راشدة تأخذ بالحسبان المعطى اللغوي المتعدد وتعمل على احتوائه بتخطيط علمي قوامه الاعتراف والتجسيد على أرض الواقع بواسطة برامج وخطط، يجعل المرء يشعر من خلالها بتحقيق مواطنه التي أساسها احترام الهوية اللغوية، الأمر الذي تكون نتيجته النهائية قيام دولة مستقرة اجتماعيا. ولا نحاول بهذا الطرح أن نختزل جميع المشكلات المجتمعية بتنوعها وتعددتها في المسألة اللغوية، وإنما عرضنا تبيان أهمية العامل اللغوي في مثل هذه القضايا، ومن ثم ينبغي لنا صوغ الأسئلة الكبرى التي تتركز الوعي الجمعي للأمم.

إن الدور المحوري الذي تقوم به اللغة في الحياة الاجتماعية وقيمتها باعتبارها وسيلة من الوسائل التي توصل إلى أعلى مراكز السلطة والتأثير، فضلا عن قيمتها الرمزية في تكوين النخب الاجتماعية وفي تثبيت الهوية العرقية، يوفر للمتكلمين والمجموعات اللغوية والسياسية جوا ملائما وأحوالا ملائمة لإنجاح تخطيطهم اللغوي الذي لا شك في أن العدالة اللغوية ستكون من نتائجه المثمرة، وهو سيؤدي إلى حل كثير من المشكلات ذات المنشأ اللغوي في المجتمع.

المراجع العربية:

1. الفاسي الفهري عبدالقادر، السياسة اللغوية في البلاد العربية، دار الكتاب الجديد المتحدة الطبعة الأولى 2013.
2. الفاسي الفهري عبدالقادر، أزمة اللغة العربية في المغرب: بين اختلافات التعددية و تعثرات الترجمة، دار الكتاب الجديد المتحدة، الطبعة الخامسة 2010.
3. الفاسي الفهري عبدالقادر، حوار اللغة، منشورات زاوية، الرباط 2007.
4. الفاسي الفهري عبدالقادر، اللسانيات المقارنة واللغات في المغرب، إصدار كلية الآداب والعلوم الإنسانية بالرباط.
5. العمري نادية، 2011، الهوية و لغة التعليم في البلدان العربية، الدوحة، مركز الدراسات والأبحاث السياسية والاجتماعية.
6. ابن منظور، محمد بن مكرم بن علي، لسان العرب، بيروت: دار صادر 1988.
7. رولز، جون. العدالة كإنصاف: إعادة صياغة. ترجمة حيدر حاج اسماعيل بيروت، المنظمة العربية للترجمة، 2009.
8. مادي الحسن، السياسة التعليمية بالمغرب و رهانات المستقبل، طنجة، منشورات مجلة علوم التربية، 1999.
9. كيمليكا، ويل. أوديسا التعددية الثقافية- سبر السياسات الدولية الجديدة في التنوع. ترجمة إمام عبدالفتاح إمام. الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، 2011. (علم المعرفة، 378).

REFERENCES

- [1] Cooper, R. (1989). *Language planning and social change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [2] Ferguson, C. A., (2000 [1959]) : « Diglossia ». L. Wei (Ed.). *The Bilingualism Reader*. London: Routledge, 65-80.
- [3] Ferguson, G., (2006) : *Language planning and education*. Edinburgh : Edinburgh University Press.
- [4] Moatassime, A., (1992) : *Arabisation et langue française au Maghreb : un aspect sociolinguistique des dilemmes du développement*. Coll. Tiers monde. Paris : Presses universitaires de France.
- [5] Parijjs, Philippe van, justice for Europe and for the world. Oxford: oxford university press 2011.
- [6] Spolsky, B. (2004). *Language policy*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [7] Tollefson, J. (1991). *Planning language, planning inequality*. London, UK: Longman.

⁹ 2013 - الفاسي الفهري عبدالقادر، السياسة اللغوية في البلاد العربية، دار الكتاب الجديد المتحدة الطبعة الأولى

Les effets macroéconomiques de la chute des cours des produits de base: Evaluation sur la République démocratique du Congo

[The Macroeconomic Effects of commodity bust: Assessment on Democratic Republic of the Congo]

Christian P. Pinshi

Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2018 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 paper assesses the shock impact of commodity prices on the macroeconomic framework in the Democratic Republic of the Congo. Using a Vector autoregressive (VAR) model, we determine the impulses of each macroeconomic sector to lower prices. The results indicate that this shock leads to complex effects that can lead to systemic risks and crises. We suggest that it would be important for governments, given such shocks, to learn from and take immediate action to strengthen the resilience of the economy and the financial system to future shocks in based.

KEYWORDS: commodity prices, macroeconomic behavior.

JEL CLASSIFICATION: Q02, F41, E60.

RÉSUMÉ: Cet article réalise une évaluation de l'impact de choc des cours des produits de base sur le cadre macroéconomique en République démocratique du Congo. À partir d'un modèle Vectoriel autorégressif (VAR), nous déterminons les impulsions de chaque secteur macroéconomique à la baisse des cours. Les résultats indiquent que ce choc conduit à des effets complexes pouvant déboucher sur des risques systémiques et des crises. Nous suggérons qu'il serait important pour les pouvoirs publics, compte tenu de tels chocs, de tirer leçon et de prendre des mesures dans l'immédiat pour renforcer la résilience de l'économie et du système financier face aux chocs à venir des produits de base.

MOTS-CLEFS: cours des produits de base, comportement macroéconomique.

CLASSIFICATION JEL : Q02, F41, E60.

1 INTRODUCTION

Les produits de base constituent l'apanage économique de nombreux pays en développement. Ils sont d'une importance systémique dans ces pays, de telle sorte que leur croissance économique est stimulée par l'envolée des cours des produits de base (Helbling et al., 2008) et la dynamique d'afflux de capitaux et des fonds souverains est alimentée par les revenus des produits de base.

Entre 2012 et 2016, il s'est observé une forte variation à la baisse des cours de plusieurs produits de base (Tableau 1). Des nombreux pays d'Afrique subsaharienne exportateurs des produits de base ont vu leurs économies entrer en crise (Banque de France, 2015) suite à l'effondrement des prix de produits de base. Cette dégringolade des cours est causée d'une part, par la distorsion entre l'offre et la demande sur le marché international. Les fortes tensions géopolitiques, ainsi que le ralentissement économique de grands pays émergents comme la Chine ont pesé en effet sur la demande de produits de base. Cependant, le

principal facteur à l'origine de cette forte chute reste l'augmentation du volume de production qui surabonde l'offre sur le marché (Albert et Gillet, 2016). Et d'autre part, par l'appréciation du dollar qui encourage la baisse des prix des produits de base.

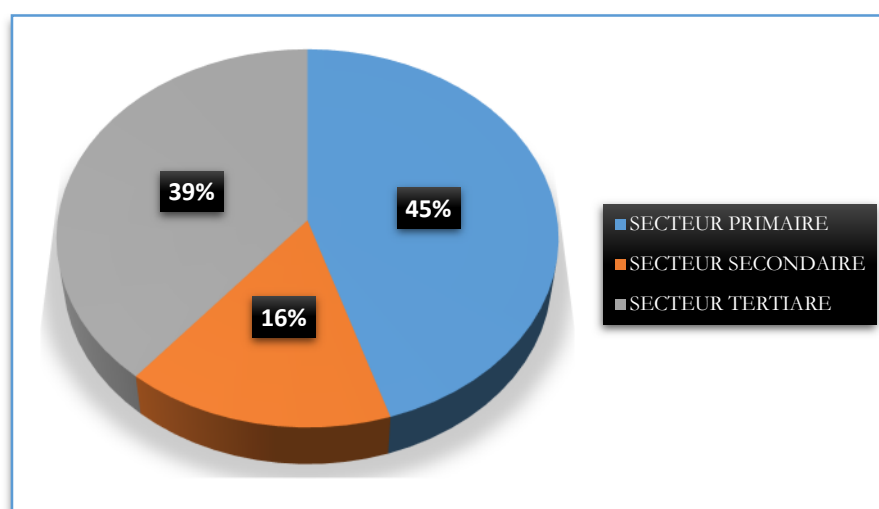
La baisse des prix des produits de base sévit le cadre macroéconomique des économies africaines, dans la mesure où une grande partie du continent est fortement tributaire des produits de base (Christensen, 2016). De fait, la littérature existante stipule que le boom et/ou le bust des cours de produits se répercute directement sur le cadre macroéconomique et alimente des distorsions de nature à déclencher une crise d'une grande envergure sur tous les secteurs économiques notamment, une crise économique, une crise financière, un twin crisis (crise bancaire combinée avec une crise monétaire), une crise budgétaire et enfin une crise de la dette souveraine. Sur ce, des chercheurs soulignent l'importance d'évaluer les effets macroéconomiques du choc des cours des produits de base et d'exposer les réactions de chaque variable macroéconomique car ce choc devrait entrer en ligne dans la formulation de la politique économique (Blanchard et Gali, 2007 ; Arezki et Blanchard, 2014 ; Anand et Prasad, 2012 ; Kenkouo, 2014 et Shousha, 2016).

La République démocratique du Congo (RDC) étant parmi les pays fortement tributaires des produits de base, le secteur primaire étant la colonne vertébrale du système économique (le graphique 1 illustre le « gâteau sectoriel de l'économie congolaise » en exposant la contribution de chaque secteur d'activité au PIB, qui fait clairement apparaître le poids systémique du secteur primaire et en particulier de l'industrie extractive. Ceci montre combien est important l'effet d'un choc des produits de base sur l'économie congolaise.

Dans le cadre de ce travail, nous évaluons les effets de la chute des cours des produits de base sur le cadre macroéconomique. Étant données que les produits de base restent la locomotive de l'économie congolaise, il est important les conséquences macroéconomiques des fluctuations des prix de ces produits sur les marchés internationaux. Les comportements des variables macroéconomiques se modifient par le truchement impulsif exogène de la hausse ou de la chute des produits de base. Dans ce travail, nous considérons le cas d'un choc baissier des prix.

La principale contribution du présent papier est de fournir une évaluation empirique des effets cours des produits de base sur les variables macroéconomiques, enfin d'en mesurer les enjeux et risques et tenir compte de la dynamique du cadre macroéconomique dans le but de répondre et de résoudre ce déséquilibre. Particulièrement nous analysons, l'effet d'un choc de la baisse des cours des produits de base sur le secteur réel, extérieur, public, monétaire et financier. À cet effet, Nous estimons un modèle Vectoriel autorégressif (VAR) pour l'économie congolaise et identifions l'effet de la chute des cours des produits de base sur le cadre macroéconomique.

La RDC est bien adaptée pour une telle étude : tout d'abord, les produits sont le poumon central de l'économie congolaise depuis l'époque coloniale. Deuxièmement, la chute semble durable et les distorsions se prolongent. Comme conséquence, les variations à la baisse des cours pourront avoir des effets persistants sur le cadre macroéconomique.



Graphique 1. Gâteau sectoriel de l'économie congolaise

Source : calculs de l'auteur, Rapport Annuel BCC (2014)

La section 2 passe en revue la littérature et la section 3 examine le comportement des cadres macroéconomiques. La section 4 présente la méthodologie de l'étude. Les principaux résultats sont présentés dans la section 5. Les implications et les réponses sont exposées à la section 6. La section 7 conclut.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

La littérature théorique sur les effets macroéconomiques des produits de base a longtemps suscité un intérêt pour les analystes. En effet les produits de base ont été la cause des plusieurs crises dans le monde. En 1973, le choc pétrolier a débouché une crise caractérisée par une stagflation (conjonction d'une récession et d'une inflation élevée) (Boyer, 2012). Destais (2012) précise d'une part, que la baisse des cours des produits de base a accentué la crise de la dette en Amérique latine dans les années 1980. Cette crise s'était soldée par une insuffisance structurelle de l'épargne domestique et une sortie accrue des capitaux. Ceux-ci ont alourdi la charge de la dette et déclenché une crise de la dette. Il précise d'autre part, que la baisse des matières premières était l'un des facteurs déclencheurs de la crise russe de 1998 qui a eu des effets macroéconomiques importants : insuffisance de la croissance économique, déficit budgétaire, dévaluation brutale du rouble, défaut sur la dette russe, volatilité des flux de capitaux.

Le premier canal de transmission de la chute des cours des produits de base est macroéconomique. En effet, Christensen (2016) identifie les canaux de transmission macroéconomique d'une baisse des cours des produits de base. Nous les synthétisons en trois canaux :

- **Canal de transmission budgétaire**

Baisse des exportations → baisse de la production et des recettes publiques → baisse des dépenses publiques

La politique budgétaire étant procyclique avec les produits de base, elle accentue l'impact du cycle des cours de produits de base sur la croissance en augmentant les dépenses lors d'expansion et en les réduisant lors de repli.

- **Canal de transmission monétaire et de change**

Baisse de réserve de change et repli des afflux de capitaux → dépréciation du taux de change
→ augmentation de l'inflation

La baisse de cours de produits de base détériore les réserves de change et provoque des sorties de capitaux et la dépréciation du taux de change. Celle-ci alimente à son tour une augmentation de l'inflation. Ceci perturbe la conduite de la politique monétaire.

- **Canal de transmission du système financier**

→ Retrait massifs des dépôts → baisse des crédits → perturbation du système financier

Une chute de cours de produits de base entraîne un retrait massif des dépôts étant donné que la perte soudaine de recette contraint souvent l'Etat et les entreprises tributaires des produits de base à puiser dans leurs dépôts bancaires et ce choc de liquidité contraint les banques à baisser les crédits, ce qui aboutit à une perturbation du système financier.

Plusieurs études empiriques se sont penchées, ces dernières années, à analyser les effets macroéconomiques des cours des produits de base. Alors qu'une grande partie de la littérature au cours de la dernière décennie s'est concentrée sur l'impact des prix élevés des produits de base sur les pays riches en ressources naturelles, une attention renouvelée est maintenant accordée aux effets négatifs de la baisse des prix des produits de base sur les économies qui en sont exportateurs.

Gruss (2014) étudie la réaction de la croissance en Amérique latine et dans les Caraïbes après la flambée des prix des produits de base. À l'aide du modèle GVAR (Global VAR), il projette une faible croissance dans les années à venir pour les pays exportateurs. Il trouve un effet persistant du choc et estime que ces pays auront du mal à retrouver leurs croissances même

en cas d'un rebond des prix des produits de base. Il met en garde toute politique visant à stimuler la demande pour booster la croissance tandis qu'il souligne la nécessité des réformes structurelles ambitieuses pour assurer une forte croissance à moyen terme.

Shousha (2009) estime par un Panel VAR les effets macroéconomiques du boom/bust des produits de base dans un contexte des frictions financières. Il trouve que le choc des cours des produits de base influence fortement le cycle économique des pays à faible revenu et émergents exportateurs de ces produits. La moindre performance du système financier (surtout du secteur bancaire) de ces pays accentue le choc et l'hétérogénéité des réponses.

Gangelhoff (2015) analyse les implications de la chute des cours des produits de base. Par un modèle de régression bivariée il conclut que la baisse des cours affecte les perspectives de croissance économique et a d'importante répercussion sur les recettes publiques et la gestion macroéconomique dans les pays exportateurs de produits de base.

Bejarano et al. (2016) évaluent, par le truchement du modèle d'équilibre général dynamique (DGE) l'impact macroéconomique de l'effondrement des prix des produits de base pour les petites économies riches en ressources naturelles. Ils constatent que les fluctuations des cours des produits de base affectent non seulement les schémas globaux de consommation et d'épargne mais aussi les incitations du secteur privé à exploiter les ressources naturelles de manière intertemporelle. Et ils trouvent que ces fluctuations se traduiront par des cycles d'emprunts externes plus importants.

Kamber et al. (2016) estiment par un modèle VAR Structurel, les effets macroéconomiques de l'évolution des prix des matières premières sur l'économie Néo-Zélandaise. Leur analyse suggère qu'une augmentation des prix des produits de base a des caractéristiques similaires pour exiger des fluctuations macroéconomiques entraînées. La consommation et l'investissement tendent à augmenter en réaction au choc des prix des produits de base. Avec des pressions plus fortes de la demande, l'inflation devrait augmenter de façon persistante et le taux de change réel s'apprécie. Par ailleurs ils montrent qu'à très court terme le taux d'intérêt directeur ne répond pas à la hausse de l'inflation, mais devrait augmenter à plus long terme.

Le Fonds monétaire international (2016) mesure avec plusieurs modèles économétriques, les effets macroéconomiques de l'effondrement des cours des produits de base en Afrique Subsaharienne. Leur résultats suggère que l'ampleur du choc des prix des produits de base importe, et son impact est plus fort en cas d'effondrement des prix à l'exportation, car une baisse de 1 % des termes de l'échange des produits de base s'accompagne d'une perte de croissance d'un quart de point environ pendant chacune des trois années suivant le choc. En sus de la perte sur la croissance, leur estimation montre que cette chute des cours des produits de base a des effets importants sur les autres variables macroéconomiques notamment, la hausse de l'inflation, la dépréciation nominale du taux de change, la baisse des réserves internationales, la détérioration de la position extérieure et le creusement du déficit budgétaire.

Kinda et al. (2016) analysent l'impact de cours des produits de base sur la fragilité du secteur financier. Ils utilisent un modèle économétrique de données de Panel sur plusieurs pays émergents et développés exportateurs des produits de base. Ils trouvent que le choc négatif des cours des produits de base affaiblit le secteur financier, augmente la probabilité d'une crise bancaire. En sus ils trouvent une forte corrélation entre la mauvaise performance bancaire et la chute des cours de produits de base. Ils identifient un effet persistant du choc dans les pays où il y a une mauvaise gouvernance, un faible espace budgétaire. Leurs résultats montrent aussi que, ce choc s'accélère davantage dans les pays où il n'y a pas de politique macroprudentielle et une politique de diversification des exportations.

Agarwal et al. (2017) estiment par un Panel la sensibilité des crédits bancaires à la chute des cours des produits de base. Ils trouvent que la baisse des cours des produits de base s'accompagne d'une contraction des crédits. Ils dressent un canal de transmission de la chute des cours des produits de base sur les crédits bancaires : ce canal montre qu'une baisse des cours des produits de base s'accompagne d'une baisse des profits des firmes et des recettes publiques. ces derniers entraînent d'une part, une baisse de la demande des crédits et d'autre part, un choc de liquidité et une détérioration de la santé bancaire et, in fine un rationnement des crédits, lequel, sape la stabilité financière.

Les études empiriques ont étalé les effets macroéconomiques qui résultent d'un choc des cours des produits de base. Ces derniers ont un effet négatif et durable sur les secteurs macroéconomiques surtout pour les pays tributaires des produits de base. C'est ainsi que dans la section 5 nous allons évaluer l'impact macroéconomique de la chute des cours des produits de base.

3 COMPORTEMENT DES CADRES MACROÉCONOMIQUES

Les produits de base conservent une place importante en RDC, la chute de ces produits a un effet domino sur l'économie congolaise, d'autant plus que cette dernière fluctue de manière procyclique à l'égard de produits de base. C'est ainsi qu'une

modification négative de produits de base entrainerait une série des évolutions (négatives) dans chaque secteur macroéconomique.

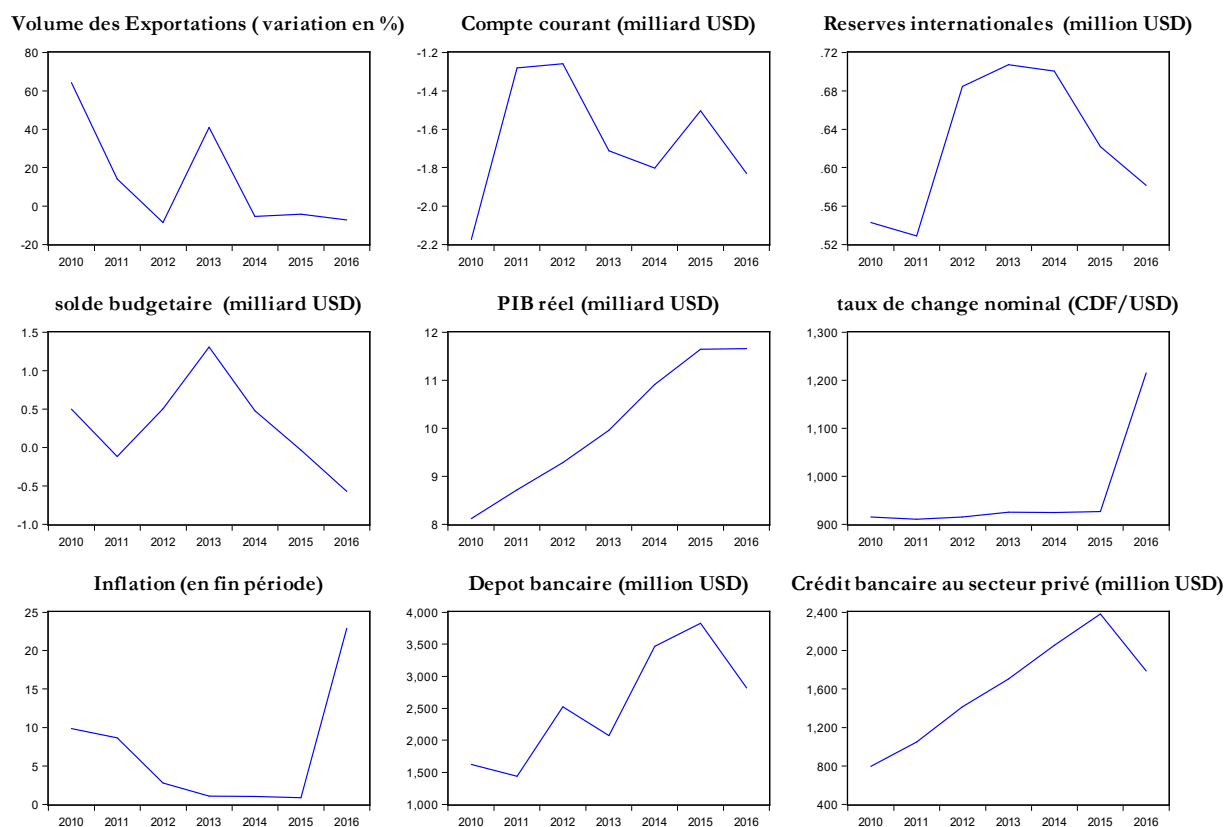
Le tableau 1 dresse un aperçu des cours des produits de base. Depuis 2012 une baisse des cours des métaux et un ralentissement des cours du pétrole ont été observés. Cependant ce tableau révèle que la baisse drastique des cours de produits de base s'est particulièrement fait sentir en 2015 avec une variation de -23% pour les métaux et de -45 % pour le pétrole.

Tableau 1. Cours internationaux des produits de base

	Indice de cours des métaux précieux	Variation (%)	Indice des cours du pétrole	Variation (%)
2010	202		147	
2011	230	14	193	32
2012	191	-17	194	1
2013	183	-4	191	-2
2014	164	-10	177	-7
2015	127	-23	98	-45
2016	120	-5	82	-16

Source : Fmi, perspective de l'économie mondiale (avril 2017)

La relation étroite entre les produits de base et l'économie congolaise, ainsi que les fortes variations à la baisse de prix de produits, anime à retracer le comportement de cadre macroéconomique.



Graphique 2. Comportement des variables macroéconomiques en RDC, 2010-2016

Source : FMI, International Financial Statistics (2016) et perspective de l'économie mondiale (avril 2017)

L'examen visuel du graphique 2 montre que les variables macroéconomiques connaissent une rupture commune en 2015. La forte baisse de produits de base a affecté brutalement tous les secteurs macroéconomiques. Le compte courant, les réserves internationales et le solde budgétaire se sont détériorés davantage. En effet la baisse des exportations de biens (toutefois les exportations de biens fluctuaient bien avant 2015) qui est le principale poste du compte courant, a creusé cette dernière (ce déficit creux affecte directement la balance des paiements) et les devises étrangères qui entrent par le truchement des exportations se répercutent sur les réserves officielles et baisse drastiquement celles-ci. Les exportations des biens étant la variable clé budgétaire qui stimule les recettes publiques via les recettes d'exportations, la tendance baissière des exportations transmet directement cet effet aux recettes publiques et creuse le déficit budgétaire. La Baisse des exportations des produits de base s'est traduite par un arrêt brutal de la dynamique de la production qui avait marqué l'économie congolaise au cours de décennie écoulée.

Dans un contexte de baisse d'offre de devise due au recul des exportations et du gonflement de la position nette du gouvernement pour financer les déficits publics, le taux de change se déprécie fortement et il s'en suit une inflation élevée causée par les effets de variations du taux de change¹ (pass-through) (Pinshi et Sungani, 2017).

Cet effondrement des cours des produits de base a tendance à perturber le système financier. D'un côté, l'estompement de la production des entreprises exportatrices des produits de base, a affecté les banques. Les entreprises ayant reçu des crédits bancaires s'étant retrouvées en difficulté d'exécuter le terme du contrat, ceci se traduit par une accumulation de cas des défauts de remboursement, par un accroissement des provisions ainsi que par la détérioration des conditions de rentabilité des banques. La détérioration de la liquidité bancaire a conduit les banques à rationner les crédits. D'un autre côté, les banques ont vu leurs dépôts chuter étant donnée d'une part, que la perte soudaine des recettes de l'Etat et des entreprises tributaire des produits de base contraint ces derniers à puiser dans leurs dépôts bancaires (Christensen, 2016) et d'autre part, la dépréciation du taux de change et la hausse des prix ont conduit les ménages à retirer leurs dépôts bancaires.

Tableau 2. Comportement des cadres macroéconomiques

Secteur	Variables	2014	2016	Variation (%)
Réel	IPC (en fin période)	1196,6	1483,7	23,9
Public	PIB à prix constant (milliard USD)	10,9	11,0	1,3
	Recettes publiques (milliard USD)	5,2	4,1	-21,2
	Dépenses publiques (milliard USD)	4,5	4,0	-11,1
	Dettes publiques (milliard USD)	6,0	7,9	30,8
Extérieur	Exportations de biens (million USD)	12,3	10,2*	-17,1
	Réserves internationales (million USD)	0,701	0,6	-17,0
	Taux de change nominal CDF/USD	924,5	1215,0	31,4
Financier et Monétaire	Crédit au secteur privé (million USD)	2,1	1,9	-7,3
	Dépôt bancaire (million USD)	4,8	2,5	-47,9

Source : FMI, *International Financial Statistics (2017) et perspective de l'économie mondiale (avril 2017)*

(*) 2015

Le tableau 2 dresse un panel du comportement de quelques indicateurs dans chaque secteur :

- Le secteur réel présente des variations profondes du taux d'inflation et de la croissance économique. En effet de 2014 à 2015 une instabilité macroéconomique s'est prononcée avec un taux d'inflation augmentant à 23,9%. De même, la croissance économique a subi ralentissement de 1,3% qui tend à la porte d'une récession.
- Le secteur public montre une forte baisse des recettes publiques de 21,2% et ces dernières affectent également les dépenses publiques à la baisse. Ceci gonfle la dette publique à 30,8%. Dans un contexte d'assèchement budgétaire, d'autant plus que la nécessité du financement est important, le pays s'endette auprès des bailleurs des fonds pour couvrir ses dépenses et cette accumulation de déficit alourdi et gonfle la dette.

¹ Pinshi et Sungani (2017) ont mesuré le degré du pass-through sur la RDC, ils ont trouvé une forte sensibilité de l'inflation suite aux variations du taux de change. Ceci montre la causalité du taux de change sur l'inflation.

- Le secteur extérieur est affecté directement vu qu'il en est la source. Les exportations des biens et les réserves internationales ont baissé brutalement à 17%.
- Le secteur financier et monétaire est en turbulence. Le taux de change a fortement varié, affichant une dépréciation de 31,4%. Le crédit bancaire est baissé de 7,3%, cependant, les dépôts bancaires (par un faible effet de run) ont fortement chuté. ceci peut saper la stabilité du système financier et préparer le terrain pour une crise financière.

Ce panel expose l'agitation macroéconomique subite par le truchement de la baisse des cours de produits de base. Tous ces secteurs sont en déséquilibre, l'effet domino et de contagion exercé par les produits de base est d'une grande importance et au-dessus de toute attente. Ceci peut être interprété comme la super dépendance de l'économie congolaise vis-à-vis des produits de base. Un ajustement rapide ordonné s'impose, notamment en mettant en œuvre simultanément de mesures de gestion de la demande (ajustement et stabilisation, en lissant les fluctuations de la production à l'égard des produits de base) et de gestion de l'offre (réformes structurelles, en stimulant une croissance économique durable).

4 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES

Nous mesurons les effets macroéconomiques de la chute des cours des produits de base par la dynamique du modèle VAR (Vecteur Autorégressif), plus précisément par la fonction de réponse impulsionnelle. Cette dernière analyse la dynamique du choc, qui, consiste à évaluer grâce à la simulation, l'effet d'un choc sur les variables contemporaines et futures.

Notre échantillon comprend les données mensuelles couvrant la période de 2010 : 01 à 2016 : 12. Nous choisissons les cours des métaux précieux compte tenu de leur importance dans l'économie congolaise, enfin nous prenons les variables macroéconomiques dans chaque secteur : secteur réel : le PIB et le taux d'inflation ; secteur monétaire et financier : le dépôt bancaire et le crédit bancaire au secteur privé ; secteur des finances publiques : les dépenses publiques et les recettes publiques ; secteur extérieur : le taux de change, le compte courant, les exportations de biens, le compte financier (flux de capitaux) et les réserves internationales.

4.1 MESURE DU CHOC DES PRODUITS DE BASE

Pour mesurer le choc de la baisse des cours de produit de base, il est important de transformer le processus VAR à un processus VMA (Vecteur Moyenne Mobile).

Considérons un processus VAR stationnaire comportant des bruits blancs non corrélés :

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Où Y_t Représente les variables macroéconomiques.

Ce processus VAR (p) peut admettre une représentation sous forme de vecteur moyenne mobile VMA (∞) selon le théorème de Wold (Gossé et Guillaume, 2011) :

$$Y_t = \sum_{j=0}^{\infty} \Psi_j \varepsilon_{t-j} = \Psi(L) \varepsilon_t \quad (2)$$

Où $\Psi(L) = \sum_{j \geq 0} \Psi_j L^j$ et $\Psi_0 = I$

Le terme ε_t de l'équation (2) est le vecteur des chocs des cours des produits de base.

Cette équation (2) permet par le truchement de la dynamique du processus VAR, de mesurer l'effet macroéconomique de la chute des cours des produits de base sur les cadres macroéconomiques par le biais des multiplicateurs :

$$\Psi_{ij,s} = \frac{\delta Y_{i,t+s}}{\delta \varepsilon_{j,s}} \quad (3)$$

Où $Y_{i,t+s}$ Représente les comportements futurs des variables macroéconomiques

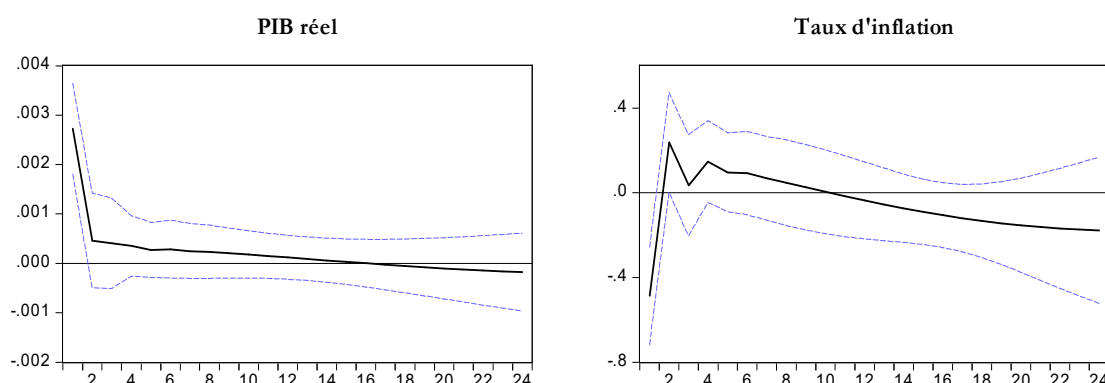
Cette fonction est appelée "fonction de réponse impulsionnelle". Il décrit la réponse de $Y_{i,t+s}$ à une impulsion unique en $Y_{i,t}$ suite à l'impact des chocs des produits de base, avec toutes les autres variables contemporaines maintenues constantes (Hamilton, 1994).

5 RÉSULTATS

La section suivante discute de la dynamique des cadres macroéconomiques à la suite du choc des cours des produits de base. Les intervalles des confiances sont fournis au seuil de 95%

5.1 EFFET SUR LE SECTEUR RÉEL

La dynamique de la production et de l'inflation à la suite d'un choc des cours des produits de base à l'horizon de 24 mois sont reportées dans le graphique 3. Le choc de cours des produits de base a un impact marqué sur la production, se traduisant par une contraction brutale du PIB qui ralenti au bout de 16 mois, avant une entrée en récession économique. L'impact du choc exogène sur l'inflation est significatif et persistant. Elle réagit par une augmentation persistante, puis suit négativement le comportement de la production. L'effet négatif est atteint après 10 mois et se maintient à ce niveau négatif par la suite. En résumé, cet exercice de la fonction de réponse impulsionnelle dans le secteur réel suggère qu'il est légitime pour les pouvoirs publics de tenir compte de tels chocs, vu les dégâts qu'ils causent au secteur réel.



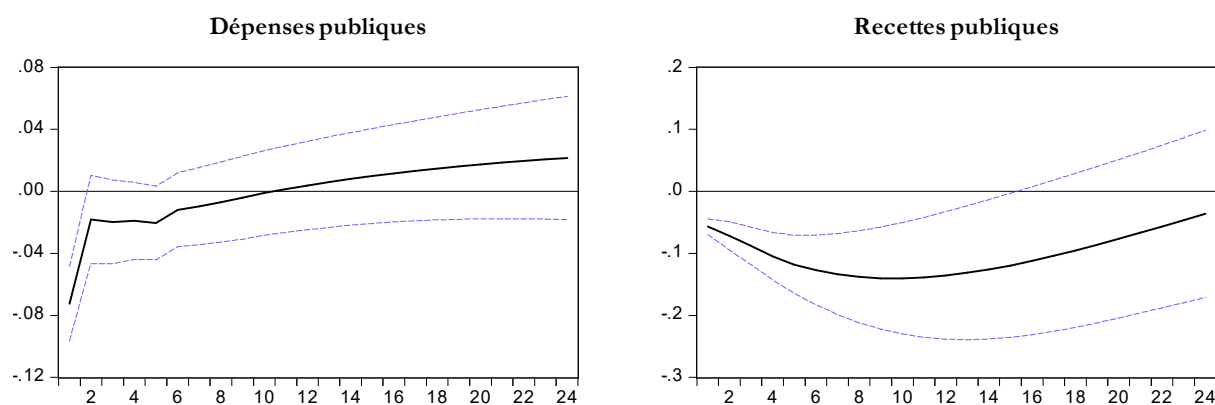
Graphique 3. Réponse du secteur réel

5.2 EFFET SUR LE SECTEUR PUBLIC

La procyclicité de la politique budgétaire² à l'égard des produits de base se fait sentir par cette fonction (graphique 4). À la suite d'un choc négatif des cours des produits de base, la situation budgétaire s'aggrave avec une négativité durable de la part des recettes publiques qui affecte mécaniquement les dépenses publiques au bout de 11 mois. Celles-ci reprennent leur dynamique à la suite. Toutefois les recettes tendent après 24 mois à revenir à l'équilibre. Il faudrait souligner entre les lignes que, cette tendance qu'à subit la situation budgétaire met en évidence un comportement haussier de la dette publique³. La politique budgétaire étant procyclique, elle attend impatiemment le retour à l'équilibre des cours. Ceci traduit la super dépendance budgétaire face aux produits de base.

² La politique budgétaire accentue l'impact du cycle des cours de produits de base sur le PIB en augmentant les dépenses lors de boom et en les réduisant lors de repli.

³ Plusieurs raisons justifient le recours à l'endettement, notamment les déroulements des élections, les paiements des salariés (les enseignants et fonctionnaires dans le secteur public) et les autres dépenses courantes.



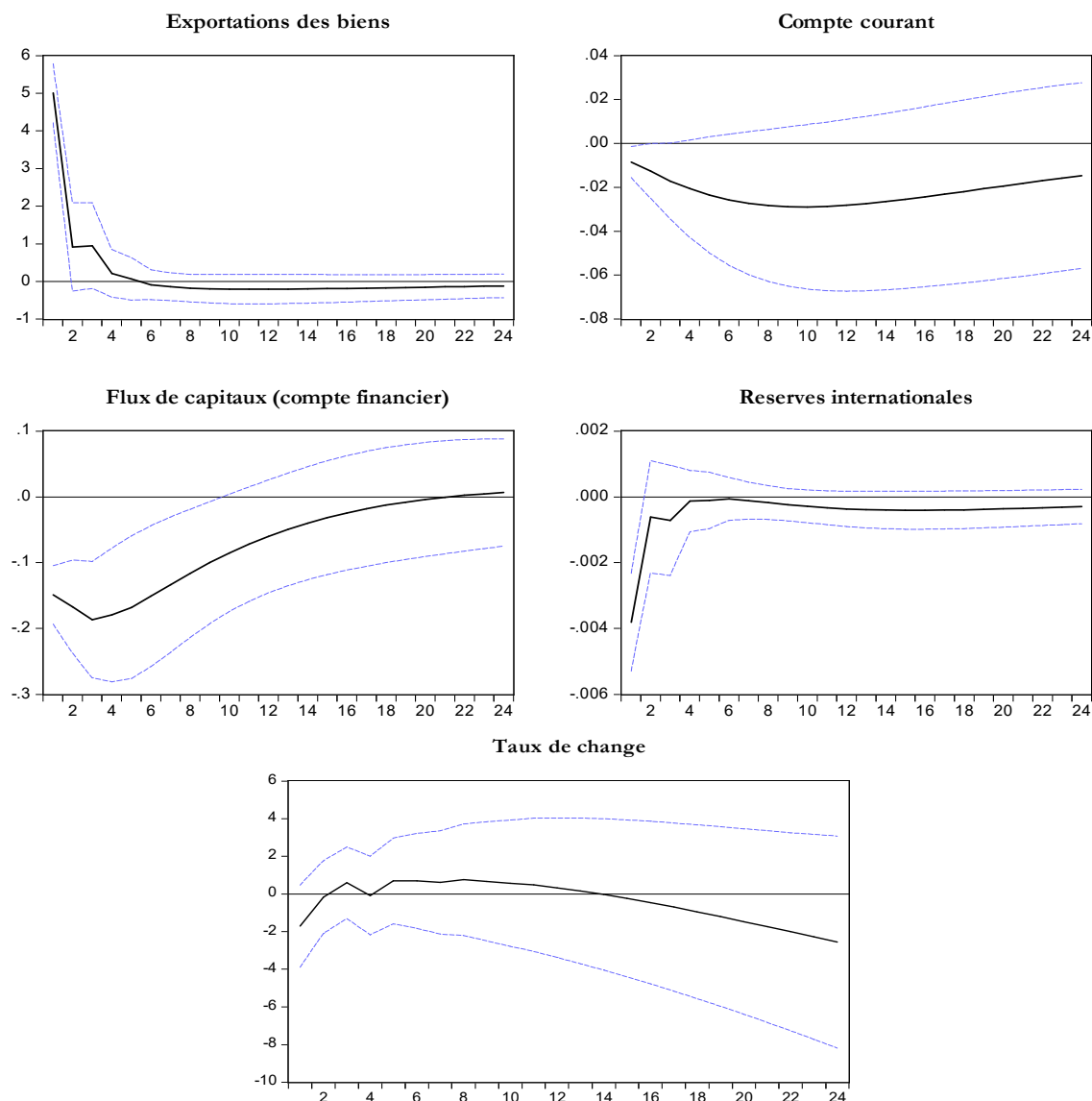
Graphique 4. Réponse du secteur public

5.3 EFFET SUR LE SECTEUR EXTÉRIEUR

Le choc s'est fait premièrement ressentir sur secteur extérieur (graphique 5), pour ensuite influencer tous les autres secteurs. En effet, le choc de cours de produits de base a eu un effet négatif et significatif sur les exportations des biens. Les exportations chutent brutalement et cette variation devient négative au 6^{ème} mois et persiste au-delà du 24^{ème} mois. Étant donné que les produits de base constituent l'essentiel des exportations des biens RDC. La balance commerciale est la partie la plus importante de compte courant, la chute des exportations entraîne mécaniquement la détérioration du compte courant et accentue les déficits.

Quant aux réserves internationales, elles réagissent premièrement de façon négative puis essayent de s'ajuster au bout de 4 mois. Cependant, l'effet négatif persiste. L'effet de la chute des cours des produits de base est sans délai sur le taux de change et entraîne directement un déséquilibre sur le marché des changes, qui alimente la forte dépréciation monétaire. Le déséquilibre s'estompe au bout de 13 mois. Étant donné que la forte dépréciation du taux de change contraint la Banque centrale à intervenir sur le marché des changes dans le but de soutenir la monnaie et d'éviter une crise de change. Ce phénomène se traduit par une baisse continue des réserves, d'autant plus que les exportations connaissent un renversement brutal.

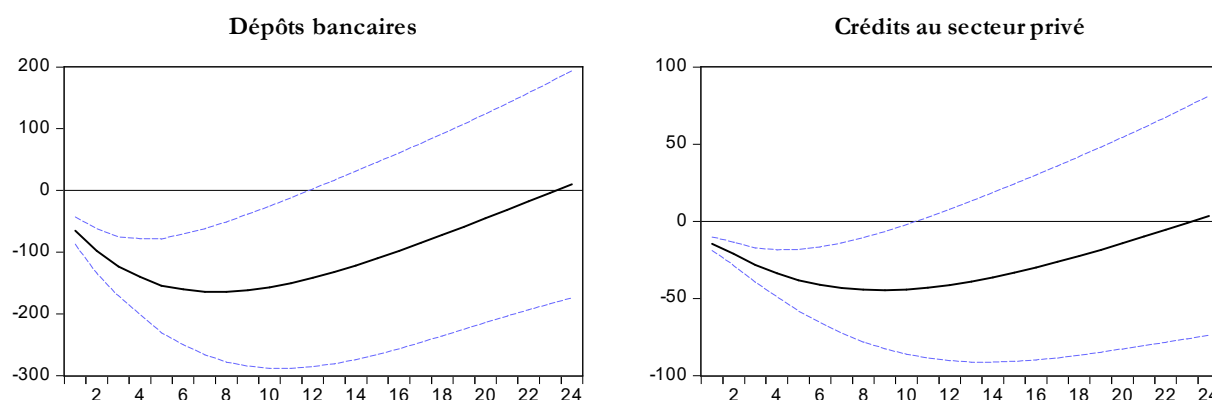
L'impact du choc face aux flux de capitaux présente une fonction de réponse assez importante. D'abord, le déficit s'accroît suite à un repli d'afflux de capitaux (ceci est causé d'une part, par le faible rendement des investissements étrangers suite à la chute des cours et d'autre part, par les incertitudes économiques et politiques tenant à toutes les frictions politiques liées aux processus électoral). Cependant l'effet change au 3^{ème} mois, où les flux s'ajustent au bout de 20 mois. Notons que les flux de capitaux sont des stimulants pour la croissance. Cet ajustement à l'équilibre pourrait être bénéfique au comportement futur de l'économie congolaise.



Graphique 5. Réponse du secteur extérieur

5.4 EFFET SUR LE SECTEUR FINANCIER ET MONÉTAIRE

Les dépôts bancaires et les crédits au secteur privé répondent négativement suivant un même comportement. Ils continuent à baisser puis reviennent graduellement à l'équilibre au bout de 24 mois. Cette baisse des cours de produits de base augmente l'exposition des banques au risque de liquidité, contraint les banques à rationner des crédits et augmente la probabilité d'une crise bancaire. Ces réponses exposent le système financier à des turbulences secouées par le choc exogène.



Graphique 6. Réponse du secteur financier et monétaire

L'étude apporte une analyse pertinente et rigoureuse des effets macroéconomiques de la chute des cours des produits de base. Les résultats ainsi obtenus pour les effets macroéconomiques d'un choc des cours des produits montrent comment la forte dépendance du pays aux produits de base accentue la vulnérabilité de l'ensemble de secteurs macroéconomiques. Ils suggèrent qu'il serait légitime pour les pouvoirs publics de tenir compte de tel choc, d'en prendre la mesure et d'en tirer leçon pour renforcer la robustesse face aux chocs des produits de base et la résilience du système économique et financière.

6 IMPLICATIONS ET RÉPONSES

La baisse des cours des produits de base a affecté tous les secteurs macroéconomiques au travers les mécanismes de transmission indiqués dans le graphique 7 et s'est soldé par une batterie des risques systémiques et des crises. Cette tragédie attire notre attention à repenser l'économie congolaise et à lister quelques implications et façon dont la politique économique devrait réagir :

6.1 DES RÉFORMES STRUCTURELLES URGENTES

Il est à présent évident que les pouvoirs publics ne peuvent plus ignorer la volatilité des cours des produits de base pouvant alimenter une crise d'une très grande envergure (graphique 7). Les politiques macroéconomiques (politique monétaire et budgétaire) devraient soutenir les politiques structurelles et réduire la fragilité de l'économie. En effet la politique monétaire ne dispose pas des moyens nécessaires pour résorber ce choc, de même la politique budgétaire ne peut à elle seule résorber ce choc. Le vrai problème devrait être résolu à la source, il faudrait instaurer des réformes structurelles immédiates dans le but de réduire la vulnérabilité de l'économie.

6.2 UNE COOPÉRATION ET COORDINATION Saine DES POLITIQUES BUDGÉTAIRE ET MONÉTAIRE

Les mécanismes de transmissions des cours des produits sur les variables macroéconomiques sont d'une très grande importance (graphique 7). Pour réagir de façon efficiente au choc la politique budgétaire et monétaire doivent être en coopération et coordination étroites tout en préservant leur autonomie respective : mobilisant de façon saine (ajustement budgétaire et adoption des règles budgétaires) les recettes sur le plan intérieur ; en repensant pour un espace budgétaire et en constituant un volant des réserves contracycliques de stabilisation pendant la période d'expansion pour s'en servir dans les phases de repli due souvent à la chute des matières premières ; en abolissant la dominance budgétaire pour consolider la crédibilité de la politique monétaire et son indépendance. Une politique de consolidation budgétaire est exigée.

6.3 UNE ORIENTATION MACROPRUDENTIELLE POUR LIMITER LE RISQUE SYSTÉMIQUE

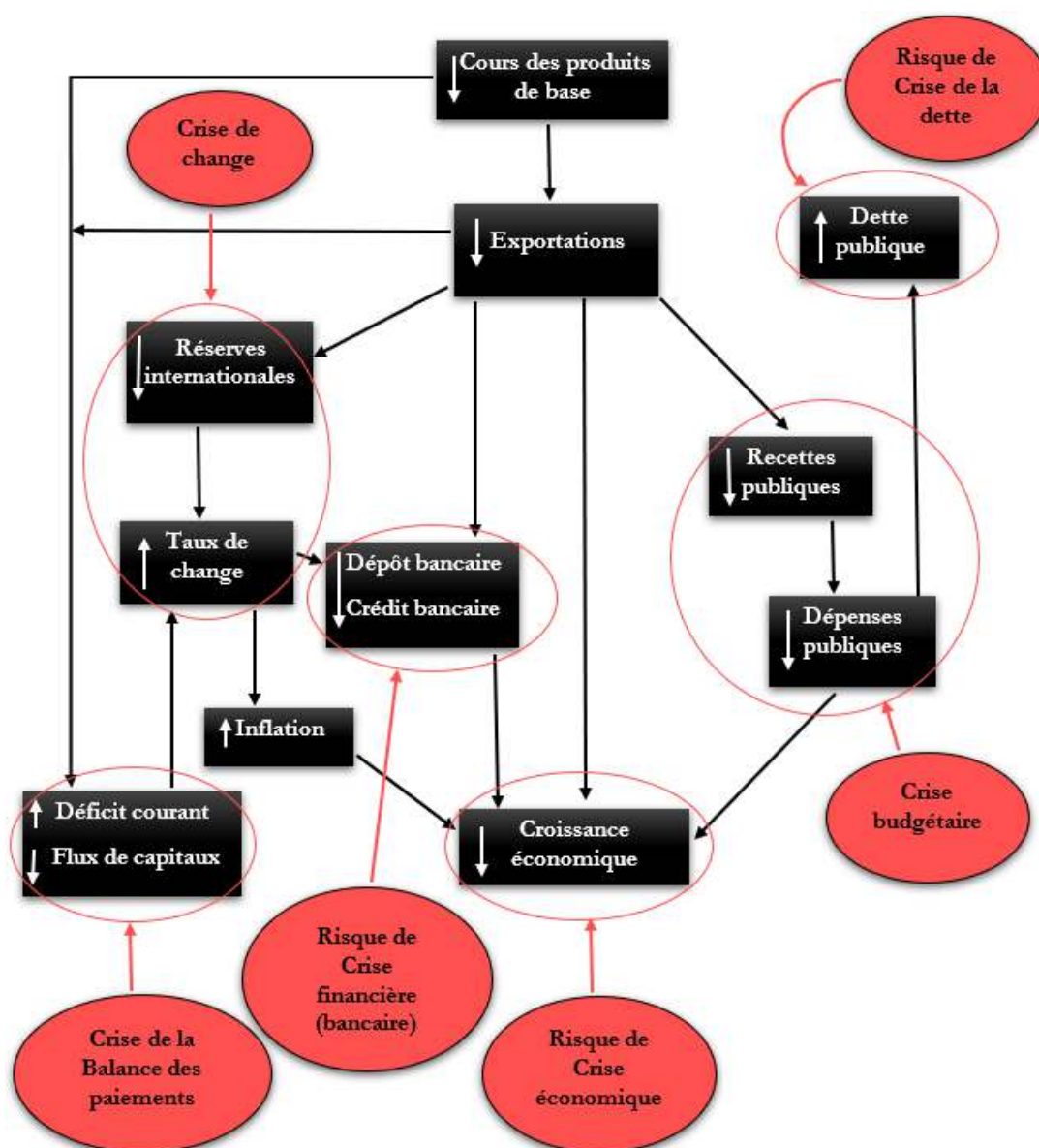
L'impact du choc exogène étant important, le système financier doit être robuste et résilient. L'orientation macroprudentielle s'avère être une meilleure régulation financière en réduisant le risque systémique. La contribution majeure de cette approche est sa capacité à être préventive (Pinshi, 2017) pour mener à bien la défensive et/ou la corrective face à un choc. Les banques devraient aussi être appelées à constituer des coussins contracycliques.

6.4 ACCÉLÉRER LA PHASE DE L'INVESTISSEMENT DANS L'INVESTISSEMENT

Accroître la capacité d'investir de façon productive en réorientant les priorités vers le renforcement de la capacité d'investir à long terme (Collier, 2009) et booster la demande interne qui aura des répercussions sur la diversification de l'économie car, sans une stratégie d'investissement massif la forte dépendance de la RDC aux produits de base va s'accroître davantage et la vulnérabilité aux chocs extérieurs également.

6.5 CRÉER DIFFÉRENTS FONDS SOUVERAINS

En vue d'aboutir à des bonnes perspectives pour la viabilité de l'économie congolaise, il est nécessaire de promouvoir une création des différents fonds souverains dans les périodes d'expansion : fonds de stabilisation ; fonds d'investissement des infrastructures, et des autres secteurs. Ces fonds permettront de contrer la super-procyclicité de la RDC à l'égard des produits de base.



Graphique 7. Canaux de transmission macroéconomique de la chute des cours des produits de base

Source : L'auteur (basés sur l'évaluation et les résultats trouvés)

7 CONCLUSION

Cet article propose d'évaluer les effets macroéconomiques de la chute des cours des produits de base en RDC. Cette évaluation quantitative est menée en estimant un modèle VAR. Nos résultats indiquent que ce choc conduit à des effets incommensurables et doivent être remédiés sans délai pour éviter une batterie des crises susceptibles de basculer durablement le pays dans l'instabilité politique et sociale.

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier Alain Malata pour ses remarques et suggestions, tout en demeurant responsable des éventuelles erreurs ou imprécisions.

REFERENCES

- [1] Agarwal (I.), Duttgupta (R.) et Presbitero (A. P.) (2017), "International commodity prices and domestic bank lending in developing countries", International Monetary Fonds, *IFM Working Paper* 17/279, décembre.
- [2] Albert (M.) et Gillet (T.) (2016), "Émergents : les conséquences de la baisse du prix du pétrole", *Problèmes économiques*, no. 3132, avril.
- [3] Anand (R.) et Prasad (E.) (2012), "How should emerging market and low-income country central banks respond to commodity price shocks?", International Monetary Fonds, *Commodity price volatility and inclusive growth in low-income countries*, Washington D.C.
- [4] Azerki (R.) et Blanchard (O.) (2014), "Sept questions sur la chute récente de cours du pétrole", International Monetary Fonds, *IMF direct*, décembre.
- [5] Bajerano (J.), Hamann (F.), Mendoza (E.) et Rodriguez (D.) (2016), "Commodity price beliefs, financial frictions and business cycles" Bank of the Republic Colombia, *working Paper*, aout.
- [6] Banque de France (2015), *Rapport annuel de la Zone Franc*.
- [7] Blanchard (O.) et Gali (J.) (2007), "The Macroeconomic Effects of Oil Price Shocks: Why are the 2000s so different from the 1970s?", *International Dimensions of Monetary Policy*.
- [8] Boyer (R.) (2012), "Comment les théories économiques expliquent-elles les crises ?", *Problèmes économiques*, Hors-série numéro 2, novembre.
- [9] Christensen (B. V.) (2016), "L'Afrique face aux défis liés à la faiblesse des prix des produits de base", Banque des règlements internationaux, *Bis paper* no. 87, *Département monétaire et économique*, septembre.
- [10] Collier (P) (2009), "Paroles d'économistes : Le milliard le plus pauvre", *Finance et Développement*, juin.
- [11] Destais (C.) (2012), "Une brève histoire des crises financières dans les pays émergents (1982-2002)", *Problèmes économiques*, Hors-série numéro 2, novembre.
- [12] Fonds Monétaire International (2016), "Afrique Subsaharienne : Un changement de cap s'impose", *Perspective de l'Économie Régionale*, avril.
- [13] Gangelhoff (G.) (2015), "The end of the commodity super-cycle? Implications for Usaid presence countries", *economics brief*, décembre.
- [14] Gossé (J.B.) et Guillaumin (C.) (2011), "Christopher A. Sims et la représentation Var", *Hal-00642920*, novembre.
- [15] Gruss (B) (2014), "After the boom-commodity prices and economic growth in Latin america and the Caribbean", International Monetary Fonds, *IFM Working Paper* 14/154, aout.
- [16] Hamilton (J.D) (1994), "Time series analysis", *Princeton University Press*.
- [17] Helbling (T.), Mercer-Blackman (V.) et Cheng (K) (2008), "Boom de matières premières : vague", *Finance et Développement*, mars.
- [18] Kamber (G.), Nodari (G.) et Wong (B.) (2016), "The impact of commodity price movements on the New Zealand economy", Reserve Bank of New Zealand *Analytical Note Series*, mai.
- [19] Kenkouo (G. A.) (2014), "Dynamique du prix du pétrole et inflation", Banque des Etats de l'Afrique Centrale, *BEAC Working Paper* no. 08/15, février.
- [20] Kinda (T.), Mlachila (M.) et Ouedraogo (R.) (2016), "Commodity price shocks and financial sector fragility", International Monetary Fonds, *IFM Working Paper* 16/12, février.
- [21] Pinshi (C.P.) (2017), "A macroprudential perspective on financial stability", *Global Journal of Management and Business Research : C Finance*.
- [22] Pinshi (C.P.) et Sungani (E.) (2017), "Pertinence de l'effet pass-through : Faut-il revisiter le régime de la politique monétaire ?", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, novembre.
- [23] Shousha (S.) (2016), "Macroeconomic effects of commodity booms and busts : the role of financial frictions", *Job Market Paper*, janvier.

ANNEXES

TESTS DE STATIONNARITÉ

Les estimations par un modèle de moindres carrés ordinaires sont susceptibles d'être fallacieuses si les séries ne sont pas stationnaires.

Nous effectuons les tests de racine unitaire de Dickey-Fuller augmentés sur les séries ci-après. L'hypothèse nulle (H_0) est celle d'une racine unitaire.

La présence d'une tendance déterministe dans certaines séries telles que : le PIB réel, le compte courant, les crédits au secteur privé, les recettes publiques, nous poussent à extraire la partie cyclique de ces variables et les utilisées sous leurs forme cyclique.

Résultats des tests de racines unitaires

séries	Dickey-Fuller augmentés	
	H_0 = racines unitaires	
	statistique	p-value
En niveau		
Indice de cours des métaux précieux	-3.23	0.08
Balance du compte financier (% PIB)	-10.71	0.01
En différence première		
Dépôts bancaires	-3.54	0.04
Exportations des biens	-6.38	0.01
Réserves de change	-5.11	0.04
Taux d'inflation en fin période	-6.03	0.02
En différence seconde		
Dépenses publiques	-9.99	0.01
Taux de change	-8.80	0.01

TESTS D'AUTOCORRÉLATION

L'estimation des séries temporelles souffre souvent du problème de corrélation sérielle des perturbations. Nous effectuons le test du multiplicateur de Lagrange (LM) proposé par Breusch et Godfrey. L'hypothèse nulle (H_0) est celle de l'absence d'une corrélation sérielle.

Ces résultats présentent l'absence de l'autocorrélation des perturbations de notre modèle VAR (2).

Résultats des tests d'autocorrélation

VAR Residual Serial Correlation LM Tests

Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h

Included observations: 81

Lags	LM-Stat	Prob
1	29.71397	0.0195
2	11.74619	0.7613
3	2.082792	1.0000
4	1.680317	1.0000
5	1.472924	1.0000
6	1.421242	1.0000
7	1.480758	1.0000
8	1.605637	1.0000
9	1.753502	1.0000
10	3.206845	0.9997

Probs from chi-square with 16 df.

Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution d'un écosystème aquatique: La rivière Sô et son bassin versant (Sud Benin, Afrique de l'Ouest)

[Characterization of the vulnerability to pollution of an aquatic ecosystem: The Sô river and its watershed (South Benin, West Africa)]

Tohozin Florence¹, F. Avahounlin Ringo¹, and Vissin W. Expédit²

¹Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, FAST, UAC), Benin

²Institut de Géographie, de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement (IGATE, UAC), Benin

Copyright © 2018 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 growth is now causing increasing pressure on the environment. In view of the consequences that flow from it, the safeguarding and protection of ecosystems is a fundamental necessity for the biodiversity of fish species. At the scale of the Sô watershed and its tributary stream, anthropogenic actions have considerably influenced the quality of the available water resources. The purpose of this study is to assess the state of vulnerability of the water resource. From the physicochemical and bacteriological data of the water taken from three points of the outlet of the basin, various forms of water pollution have been proved. The results showed a strong variation of physicochemical parameters, a seasonal dynamics of pollution and differentiated mineralization processes. With high photosynthetic activity in the river, a high concentration of dissolved oxygen, COD, nitrates, nitrites, ammonium and other ions is observed in the dry season. The observed presence of coliforms and streptococci confirmed the state of organic pollution and bacteriological and toxicological risks at the basin scale. This situation now calls on the authorities at various levels and managers of the basins to take the necessary measures to avoid public health problems to the neighboring populations, this situation has an impact on the current development of the locality.

KEYWORDS: Sô river, aquatic ecosystems, vulnerability to pollution, physicochemical and bacteriological parameters.

RESUME: La croissance démographique entraîne de nos jours une pression de plus en plus remarquable sur l'environnement. Au regard des conséquences qui y découlent, la sauvegarde et la protection des écosystèmes sont d'une nécessité fondamentale pour la biodiversité des espèces halieutiques. A l'échelle du bassin versant de la rivière Sô et de son cours d'eau tributaire, les actions anthropiques ont considérablement influencé la qualité de la ressource en eau disponible. Cette étude a pour l'objectif l'évaluation de l'état de vulnérabilité à la pollution de la ressource en eau. A partir des données physico-chimiques et bactériologiques des eaux prélevées à trois points de l'exutoire du bassin, il a été prouvé diverses formes de pollution des eaux. Les résultats ont montré une forte variation des paramètres physico-chimiques, une dynamique saisonnière de la pollution et des processus de minéralisations différenciés. Avec une grande activité photosynthétique dans la rivière, on note en saison sèche une forte concentration de l'Oxygène dissous, de la DCO, des nitrates, des nitrites, de l'ammonium et autres ions. La présence remarquée des coliformes et streptocoques a confirmé l'état de pollution organique et bactériologiques et les risques de toxicologie à l'échelle du bassin. Cette situation interpellent désormais les autorités à divers niveaux et gestionnaires des bassins à prendre les dispositions nécessaires afin d'éviter des problèmes de santé publique aux populations riveraines, cette situation a sans doute un impact sur le développement actuelle de la localité.

MOTS-CLEFS: rivière Sô, écosystèmes aquatiques, vulnérabilité à la pollution, paramètre physico-chimiques et bactériologiques.

1 INTRODUCTION

Les points d'eau naturels sont d'une importance capitale pour la satisfaction des divers besoins de la population. Cependant, ces derniers ne sont toujours pas de la qualité requise. La qualité physico-chimique de l'eau est le socle de l'écologie du cours d'eau ; elle sert de support à la vie aquatique (DCE, 2000). L'étude de la qualité physico-chimique et l'évaluation du niveau trophique des cours d'eau permettra de caractériser les éléments minéraux qui dégradent la qualité des eaux et menacent la vie aquatique (Mama et al., 2011).

Au Bénin, les différents écosystèmes comme la rivière Sô subissent une forte pression démographique liée à leur situation en zones humides. Dans cette rivière, les apports massifs de nutriments liés aux multiples activités anthropiques ont provoqué très souvent l'eutrophisation, caractérisée par la prolifération de la jacinthe d'eau (Ogutu – Ohwayo et al., 1997 ; Mama, 2010). Les rejets domestiques et les eaux des collecteurs sont fortement chargés de matières organiques qui s'oxydent en consommant de l'oxygène. Ces divers rejets contribuent à la présence des matières organiques, des contaminants microbiologiques (coliformes fécaux, coliformes totaux, streptocoques, etc.) et des polluants chimiques (phosphates, nitrates, nitrites, ammonium, métaux lourds etc.) dans cet écosystème qui ne sont pas sans incidence sur la vie des espèces aquatiques (Tométin, 2008 ; 2013). En effet, la rivière Sô et sa berge sont devenues un réceptacle de déchets solides et liquides jetés par les populations, de nombreuses déjections de porcs et des bœufs et enfin du trafic frauduleux des hydrocarbures (pétrole essence, gasoil, huile à moteur) (Kiossa, 2011).

En absence de toute mesure conservatoire d'hygiène et d'assainissement de la rivière Sô et de son bassin versant, les risques écotoxicologiques sont à craindre, la qualité des eaux est compromise et la faune aquatique reste fortement menacée. Il urge donc que des mesures soient prises pour une gestion intégrée de l'écosystème aquatique. Si plusieurs études menées à nos jours dans le secteur d'étude et ses environs portent sur la biologie et l'écologie d'une espèce de poisson *Heterotis niloticus* (Adité et al., 2006) , la caractérisation physico-chimique du système (Koudenoukpo et al, 2017), la pollution physico-chimique et bactériologique du lac Nokoué (Flavien et al, 2011), la caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Daouda et al, 2011) ; aucune d'entre elles ne proposent d'approche de gestion intégrée du bassin. La présente étude en caractérisant la vulnérabilité à la pollution de la rivière Sô et de son bassin versant propose un moyen de gestion intégrée de l'écosystème aquatique.

2 MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

2.1 MILIEU D'ETUDE

La rivière Sô est comprise entre 6°24' et 6°32' Latitude Nord et 2°27' et 2°30' Longitude Est. Elle est située dans la commune de Sô-Ava, commune à laquelle elle doit son nom. D'une longueur de 84,4 Km, la rivière Sô prend sa source dans le lac Hlan et est reliée au fleuve Ouémé par des marigots. Cette rivière est l'une des anciens bras du fleuve Ouémé, qui entre temps s'en est détachée, et qui déverse ses eaux au Nord-Ouest du lac Nokoué au niveau de la cité lacustre de Ganvié (Lalèyè, 1995). Tout au long du bassin de cette rivière, les riverains pratiquent d'importantes activités agricoles (patates, manioc, maïs et cultures) nécessitant l'usage des engrais et l'élevage des porcs et bœufs laissées en divagation sur les berges. De même pour leurs activités de pêche, de nombreux branchages sont utilisées pour la réalisation des acadjas qui abondent la rivière et enfin le trafic frauduleux des hydrocarbures qui s'observe quotidiennement sont autant d'activités anthropiques qui se développent dans ce milieu.

2.2 DONNÉES D'ETUDE

Les données utilisées concernent les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau échantillonnées. Les paramètres physiques déterminés sont le pH, la conductibilité, la température, la salinité, les turbidités (TDS) et la couleur. Les paramètres chimiques prennent en compte les nitrates (NO_3^-), les Ammonium (NH_4^+), les Nitrites (NO_2^-), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Fluorures (F^-), les Phosphates (PO_4^{3-}), les Iodures (I^-), le Fer total ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), les Chlorures (Cl^-), les Bicarbonates (HCO_3^-), le Magnésium (Mg^{2+}), le Calcium (Ca^{2+}), l'Oxygène dissous (O_2), la DCO, la Dureté totale et l'Alcalinité. La microbiologie concernent les taux respectifs de DBO, Coliformes totaux de Coliformes Fécaux et des Streptocoques Fécaux. Ces données ont été extradiées de trois stations situées à l'exutoire du bassin versant délimitant la rivière Sô. Le choix des points d'échantillonnage a été effectué de façon raisonnée afin d'avoir des informations plus précises sur le secteur d'étude. Un point S1 est situé sur la branche quittant le village lacustre de Ganvié (l'objectif de ce prélèvement est d'avoir une estimation de l'impact du village lacustre de Ganvié sur la qualité de l'eau) ; un point S2, situé à Sô – Ava (renseigne sur la qualité de l'eau de la rivière Sô) et le point S3 est situé à l'entrée du village Sôtchanhoué en partant de la seconde branche de la Sô (Il permet

d'apprécier l'influence des eaux du fleuve Ouémé). La figure 1 présente la localisation géographique du bassin de la rivière et des stations d'étude.

2.3 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué mensuellement pendant 12 mois (Janvier 2016 à Décembre 2016). Les mesures et prélèvements in situ des eaux ont eu lieu tôt le matin. Lors de chaque campagne un dispositif de mesure approprié est utilisé : un disque de Secchi ; un multi paramètre, Model SX736 pH/mV/Conductivity/DO Meter. Avec ce dispositif, les paramètres physiques sont sur place mesurés. Ensuite les prélèvements d'eau ont été faits dans des bouteilles en polyéthylène à double bouchage de contenance 1000mL, conservés dans une glacière à 4°C puis ramener au laboratoire. Au laboratoire, les paramètres chimiques ont été dosés par chromatographie ionique à l'aide d'un Chromatographe ionique DIONEX ICS-1000 respectivement au Nesler, Diazotation, Réduction au Cd, Nessler et Acide ascorbique selon Rodier (2009). Le dosage par chromatographie ionique est une technique analytique qui permet l'analyse qualitative (par séparation des espèces présentes) et quantitative des espèces ioniques présentes dans un échantillon liquide dépourvu de Matières en suspension (Rodier, 2009). Pour les analyses bactériologiques, les échantillons d'eaux ont été pris dans des bouteilles en verre de 250 ml. Le mode opératoire consiste à filtrer 10 à 100 ml de l'échantillon d'eau préalablement dilué à travers une membrane cellulosique filtrante. Toutes les bactéries présentes dans l'échantillon sont retenues à la surface de la membrane ; celle-ci est ensuite mise sur des milieux de cultures gélosés favorables à la nutrition des bactéries. Les lectures sont faites 48 heures après une incubation à 37 °C. Les différents milieux solides utilisés pour cette analyse bactériologique ont permis la détermination des coliformes et des streptocoques. Ces différentes analyses ont été effectuées au Laboratoire de la Direction Générale des Ressources en Eau au Bénin.

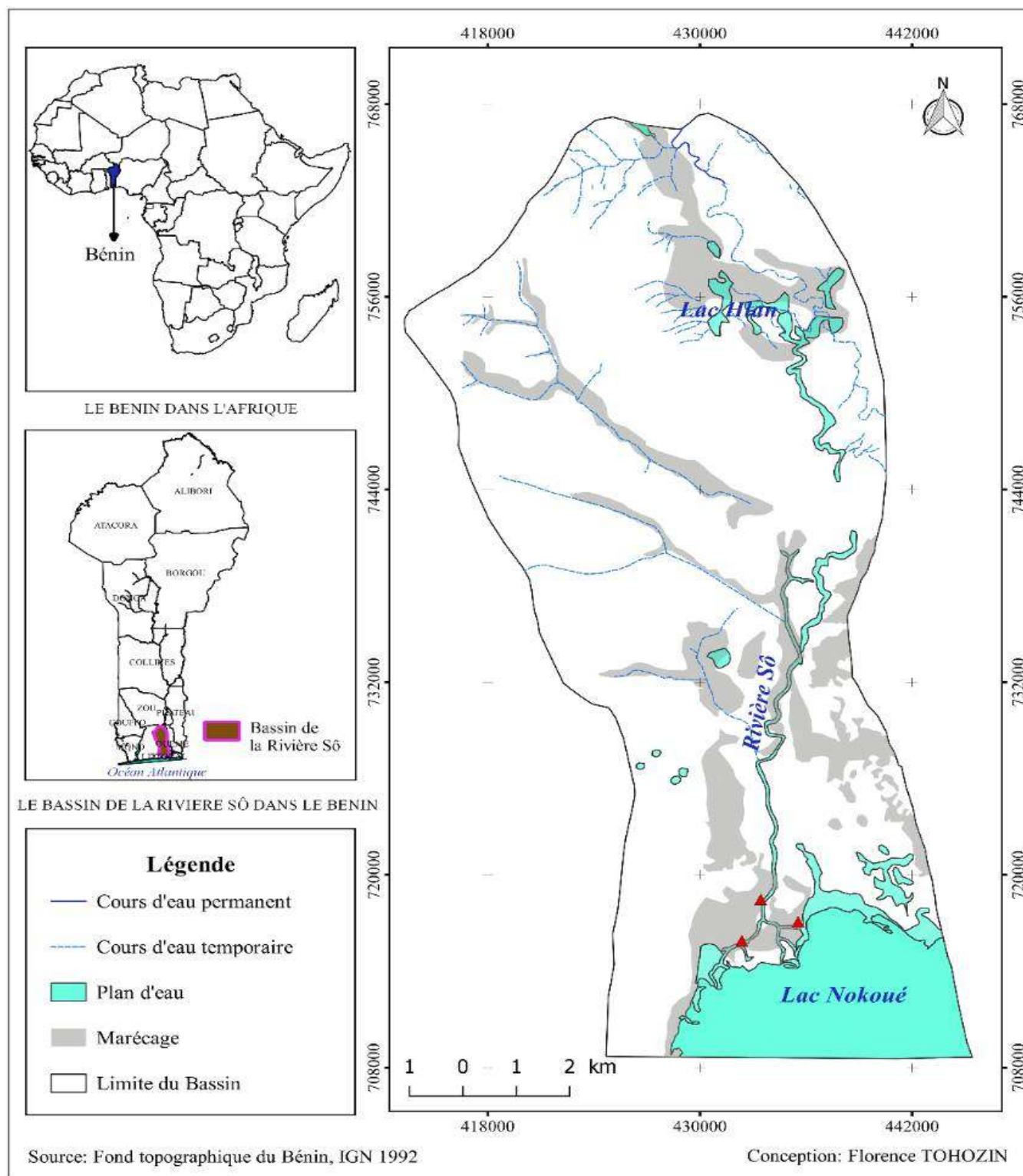


Fig. 1. Situation géographique du secteur d'étude et points de prélèvements

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Les séries de données observées est faite d'une matrice de 27 paramètres – trois stations – 12 mois. Des statistiques descriptives ont été constituées au moyen du logiciel SPSS. En effet différents tests statistiques ont été appliqués aux séries de données constituées. Le test de Mann-Whitney combiné au test de Kruskal-Wallis a été appliqué pour vérifier l'homogénéité

des paramètres et leur variabilité entre les mois et les stations définies. A partir du groupage des stations et campagne effectuée obtenu par Classification Hiérarchique Ascendante (ACH) telle que préconisée par Belkhiri et al, (2010), le test de Manova est appliquée afin de vérifier la redondance des différentes variables en jeu. De plus une analyse canonique discriminante a été réalisée sur les valeurs moyennes des différents groupes obtenus après la classification. Enfin la méthode d'analyse PEIR (Pression, Etat, Impact, Réponse) a permis de déterminer les différentes causes de la pollution chimique et bactériologique de l'eau du lac, les risques écotoxicologiques liés à cette pollution et les mesures à prendre pour atténuer la dégradation de cet écosystème aquatique.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques, les différentes investigations documentaires ont été obtenus et sont présentés suivant l'objectif de l'étude. Les tableaux 1 et 2 déterminent les statistiques descriptives des différents paramètres mesurés à toutes les stations combinées et campagne effectuée. A l'exception de la température, des ions nitrites, fluorures, phosphates, iodures et du fer total on note une forte variation des paramètres physico-chimiques mesurés. Ceci semble lié à la différence des périodes et stations de mesure. Toutefois les apports respectifs du fleuve Ouémé ou des activités anthropiques sont susceptibles de contribuer à cette variation observée.

Tableau 1 : Statistiques descriptives des paramètres physiques

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyennes	Ecart-type
pH (In situ)	6,51	7,615	6,84725	0,2716886
pH (labo)	6,63	7,37	6,900028	0,1896351
Conductivité	82,4	2,75	6,085748	7,829834
Température de l'eau	23,3	29,9	2,740833	1,7941771
Température de l'air	0	30,8	7,863889	12,9144914
TDS	82	2,75	6,087306	7,8334022
Salinité (mg/L)	0	17,1	3,074722	4,8215738
Couleur	0	320	1,614444	110,992778

Tableau 2 : Statistiques descriptives des paramètres chimiques

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyennes	Ecart-type
NO ₃ ⁻	0	4,84	1,171944	1,626744
NH ₄ ⁻	0,4	4,74	1,341233	1,1510678
NO ₂ ⁻	0	0,299	0,099325	0,111183
SO ₄ ²⁻	0	535	1,278333	173,780075
F ⁻	0	1,21	0,351667	0,3742612
PO ₄ ³⁻	0,11	2,69	0,409444	0,4623848
I ⁻	0	1,68	0,375	0,3351375
Fe ²⁺ /Fe ³⁺	0,01	2,24	0,962222	0,811961
Cl ⁻	10,046	9,23	1,63314	2,3098424
HCO ₃ ⁻	0,4	97,6	3,009583	33,9010079
Mg ²⁺	2,9184	457,216	9,314547	126,436832
Ca ²⁺	5,6112	167	4,390181	46,0002856
Dureté totale	28	2,24	4,839444	604,009553
Alcalinité	10	1	1,345833	269,797212
O ₂ dissous	0	4,8	1,401667	1,4205502
DCO	0	145,608	3,243154	32,0337886

3.1 VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DES PARAMÈTRES PHYSIQUES

L'eau naturelle pure est neutre c'est à dire pH égal à 7. Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. La figure 2 présente les pH (in situ et au laboratoire) obtenu au cours de l'année (Janvier à Décembre). De Décembre à Juin les pH enregistrés sont de l'ordre 6,7 à 7,6 puis d'ordre inférieur 7 de Juillet à Novembre. Le taux de variation des pH est très faible (inférieur à 1,2) pour l'ensemble des stations de prélèvement avec par endroit de forte valeurs (stations ST1 et ST3). En effet le système d'évaluation de la qualité de l'eau au Bénin permet

d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités : maintien des équilibres biologiques, production d'eau potable, etc. Les valeurs du pH de la rivière étant comprises dans la limite des normes qui est de 6,5-8,5 (Dovonou et al, 2011) la rivière Sô est classé eutrophe. Les fortes valeurs par endroit obtenues peuvent être liées à l'activité photosynthétique des phytoplanctons.

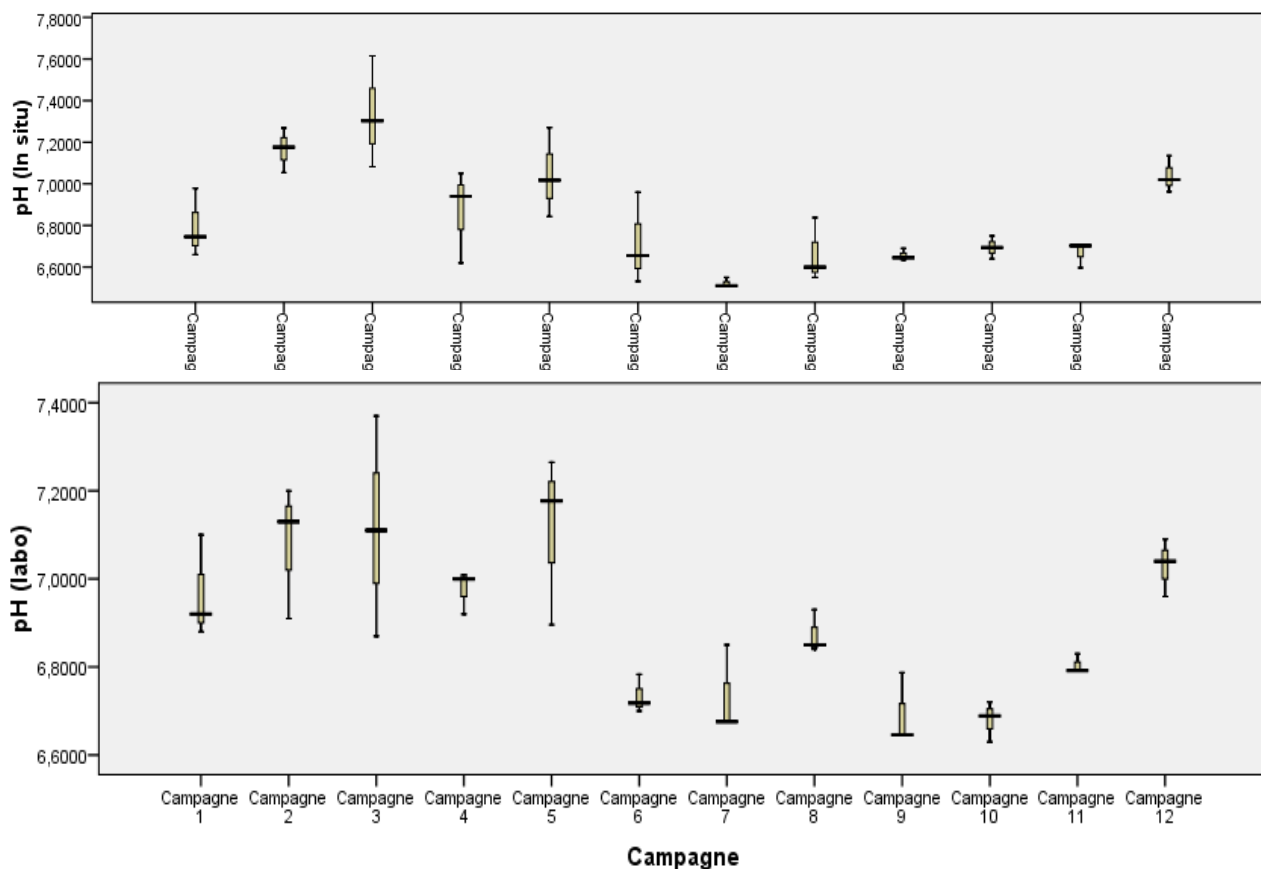


Fig. 2. Variabilité saisonnière des pH des eaux

Sur l'ensemble des stations la température quant à elle varie de 25,1 – 29,4 entre Octobre et Mai et 26,4 – 28,5 entre Juin et Septembre. Les températures expriment mieux les périodes de mesure, faible en saison pluvieuse et forte en saison sèche.

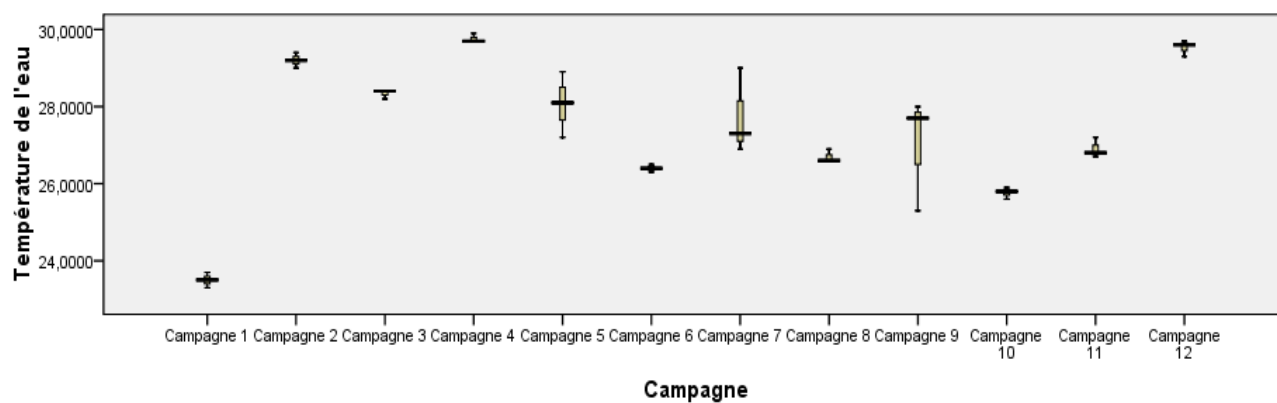


Fig. 3. Variabilité saisonnière des températures de l'eau

La figure 4 présente le complexe conductivité – turbidité TDS- salinité à différentes campagne. La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Les conductivités observées sont très élevées en période de saison sèche (valeur supérieure à 5000 μ S/Cm) et faible en saison pluvieuse. Cette variation saisonnière de la conductivité est accompagnée au même degré par la turbidité et la salinité, ce qui explique une forte minéralisation de la rivière.

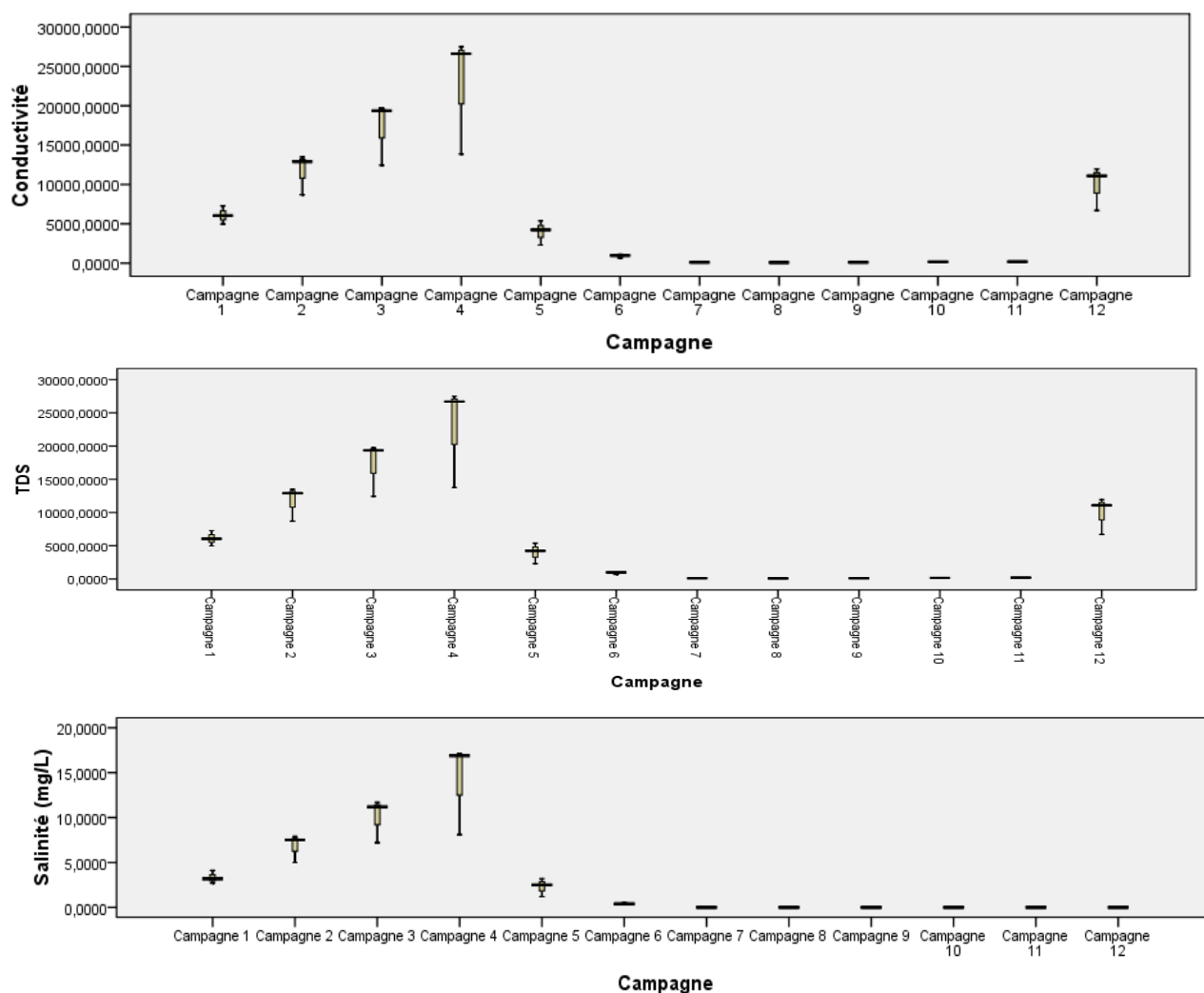


Fig. 4. Variabilité saisonnière du complexe conductivité – turbidité – salinité de l'eau

3.2 VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DES PARAMÈTRES CHIMIQUES

Les graphiques de la figure 5 présentent les teneurs en oxygène dissous et les demandes biologique et chimique en oxygène des eaux de la rivière Sô. La teneur (en mg/L) d'oxygène dissous est de 2,5 à 4,8 en période sèche et inférieure à 1 en saison pluvieuse. Considérant les normes requises, l'eau de la rivière est fortement polluée en saison pluvieuse (une valeur de 1 à 2 mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible) et est de bonne qualité en saison sèche (une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité). Toutefois les fortes valeurs (de l'ordre de 4 mg/L) sont susceptibles de perturber la vie de certains poissons sensibles. L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation de dioxygène (O₂). La mesure de cette demande en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables, donc son degré de pollution ou sa qualité. Il est évalué par la demande biochimique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO). Les DBO₅ mesurés sont compris entre 10 mg/L et 30 mg/L avec de fortes valeurs en saison pluvieuses. Cette forte valeur de DBO₅ en saison pluvieuse se corrèle

avec de faibles valeurs de DCO (inférieur à 20 mg/L) qui peuvent atteindre les 140 mg/L. Ceci témoigne d'une quantité élevée de matières organiques présentes dans l'échantillon.

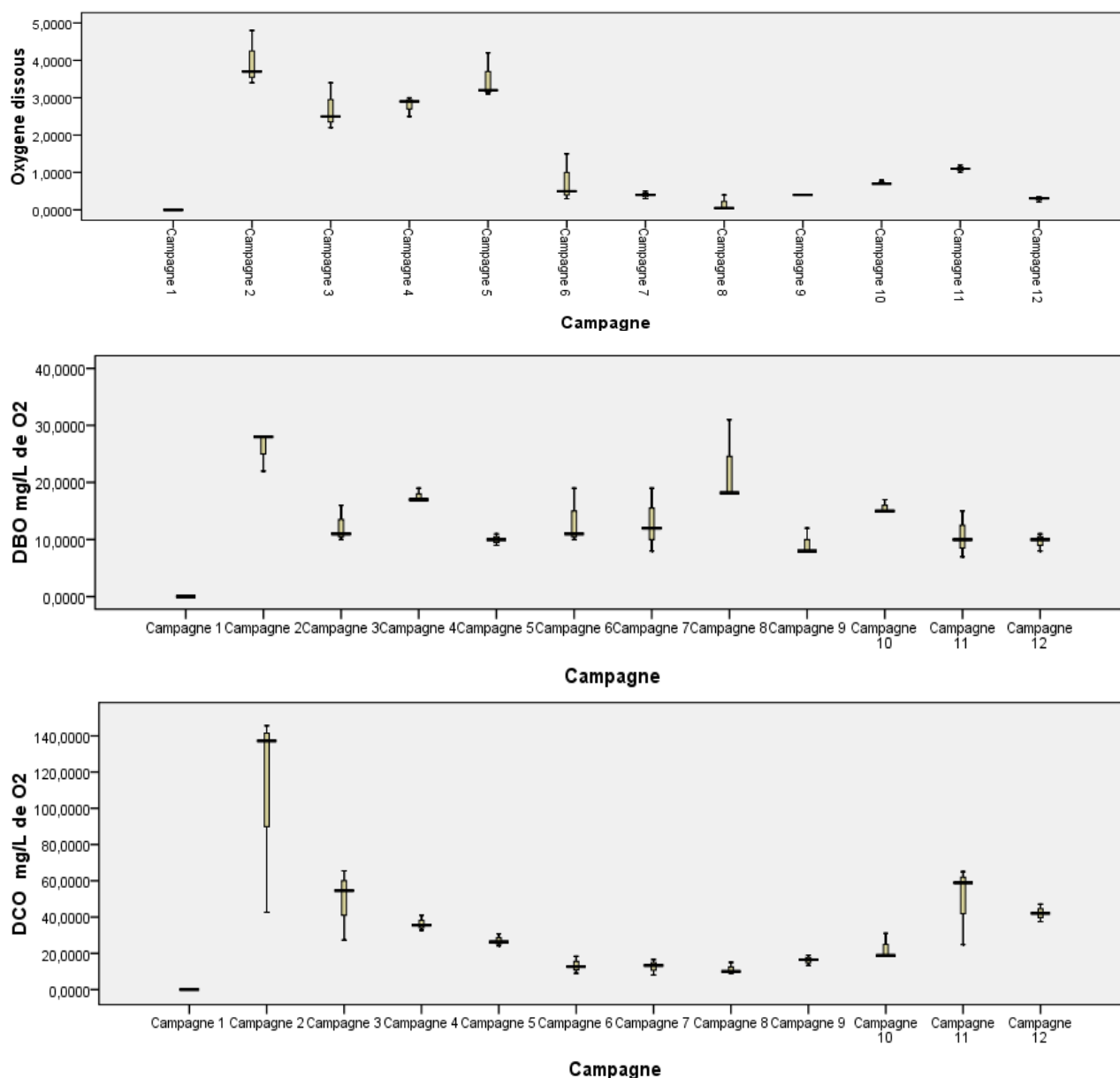


Fig. 5. Variation des teneurs en Oxygène dissous, DBO₅ et DCO de l'eau

L'évaluation du taux de nitrites présente des valeurs inquiétantes (figure 6). En effet, les nitrites proviennent de la réduction du nitrate sous l'influence des bactéries. En période sèche toutes les stations présentent une concentration de nitrite supérieure (comprise entre 0,15 mg/L et 0,28 mg/L) à la limite admissible de 0,06 mg/L correspondant au seuil inférieur de la gamme de toxicité aiguë (Djibril, 2001). La contamination de l'eau par le nitrate constitue un danger eu égard le rôle que joue cette dans le quotidien des populations riveraines installé dans le bassin versant. L'effet le plus grave et le plus anciennement connu des nitrates est la méthémoglobinémie. Ces concentrations élevées en nitrites nuisibles pour les jeunes poissons témoignent de la présence de matières toxiques. Mais compte tenu de la teneur en Oxygène dissous durant cette saison sèche les différentes concentrations de l'ammonium obtenues sont largement inférieures aux normes de qualité (8 mg/L) sur toutes les stations.

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques. Quel que soit la période de prélèvement, les valeurs obtenues (comprise entre 0,5 $\mu\text{g/L}$ et 2,5 $\mu\text{g/L}$ sont largement inférieure à la norme universelle (50 $\mu\text{g/L}$), ceci explique les problèmes d'eutrophisation sur la rivière (figure 7).

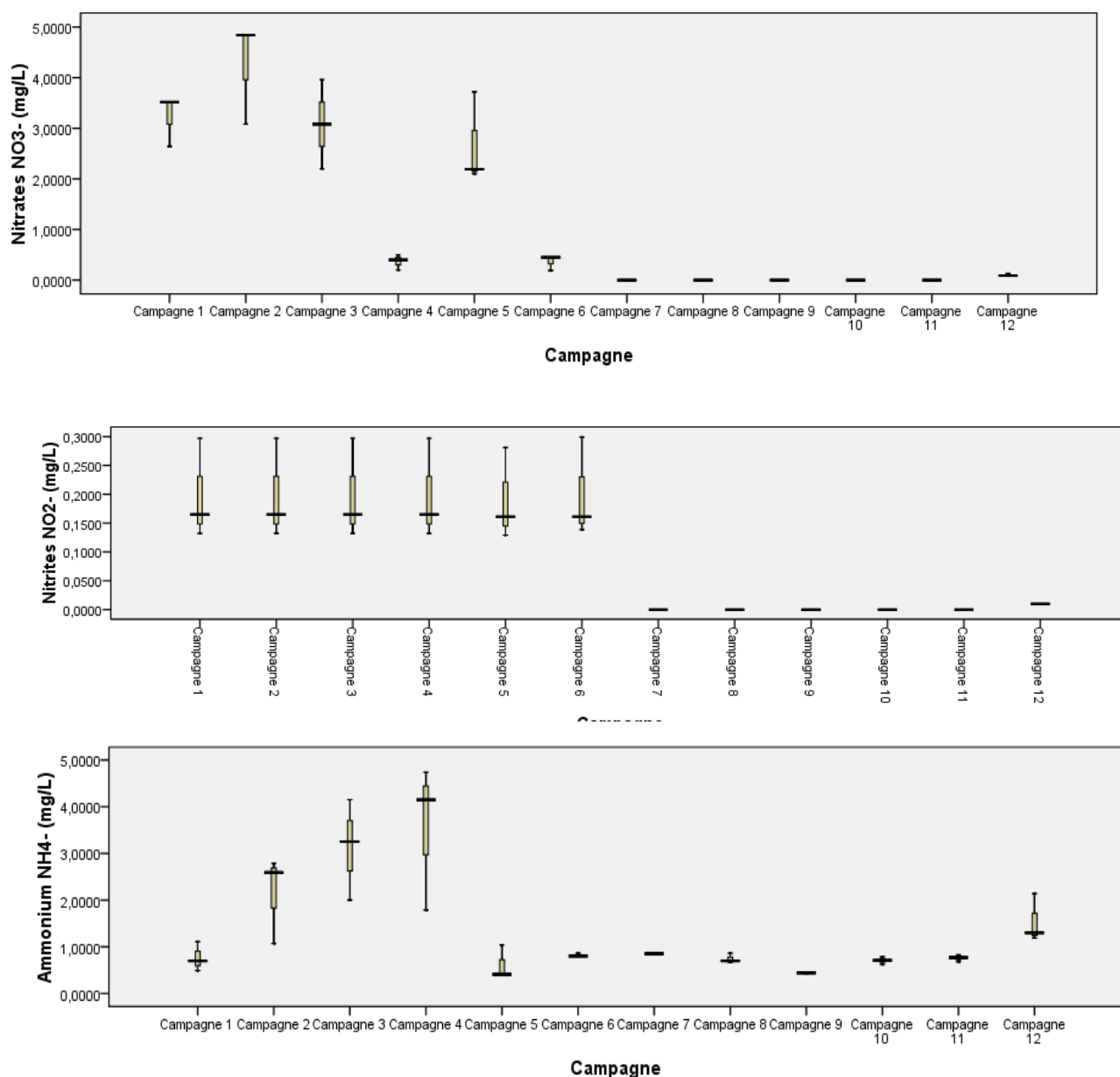


Fig. 6. Variation des teneurs en nitrates, nitrites et Ammonium dans l'eau

En effet, les algues diffèrent de la vie animale microscopique de nos plans d'eau à cause de leur mode de respiration : elles libèrent plus d'oxygène durant la journée qu'elles en utilisent, et absorbent plus de dioxyde de carbone qu'elles n'en relâchent, alors que les animaux et les organismes photosynthétiques libèrent le dioxyde de carbone et absorbent l'oxygène de leur environnement. Les algues réagissent habituellement d'une façon opposée pendant la nuit, lorsqu'elles agissent comme des matières organiques mortes augmentant ainsi la DBO. Par ailleurs d'autres éléments chimiques non moins importants à savoir les bicarbonates, le magnésium et les ions calcium sont observés à des concentrations relativement faibles en période sèche. La présence de ces deux cations (magnésium et calcium) dans l'eau rassure du faible degré de toxicité en métaux lourds. Au total les différents regroupements saisonniers des paramètres physico-chimiques ont été confirmés par l'application du test de manova où des processus de minéralisations et autres activités physiques sont observés soit en saison pluvieuse ou en saison sèche.

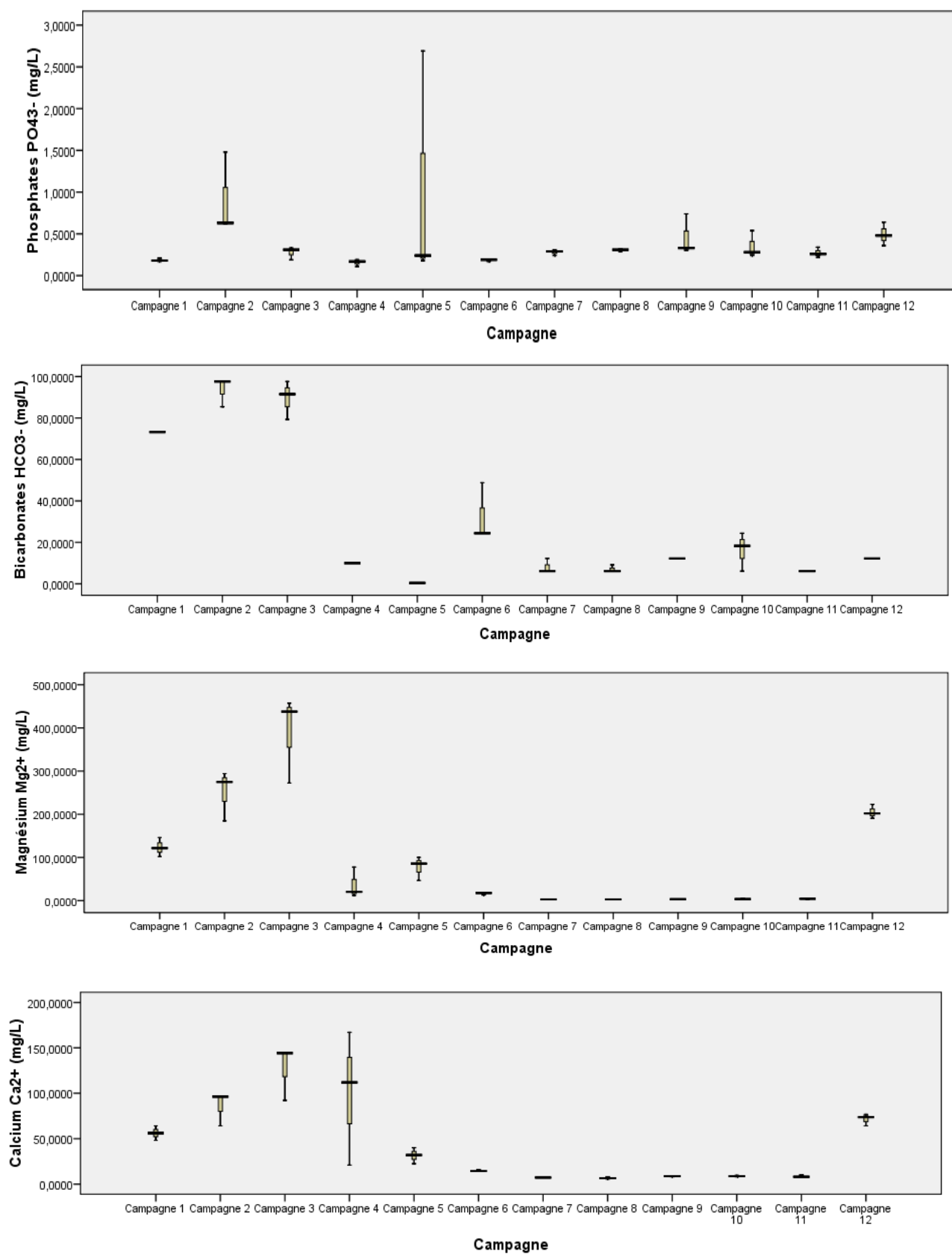


Fig. 7. Variation saisonnières des teneurs en phosphates, bicarbonates, magnésium et calcium dans l'eau

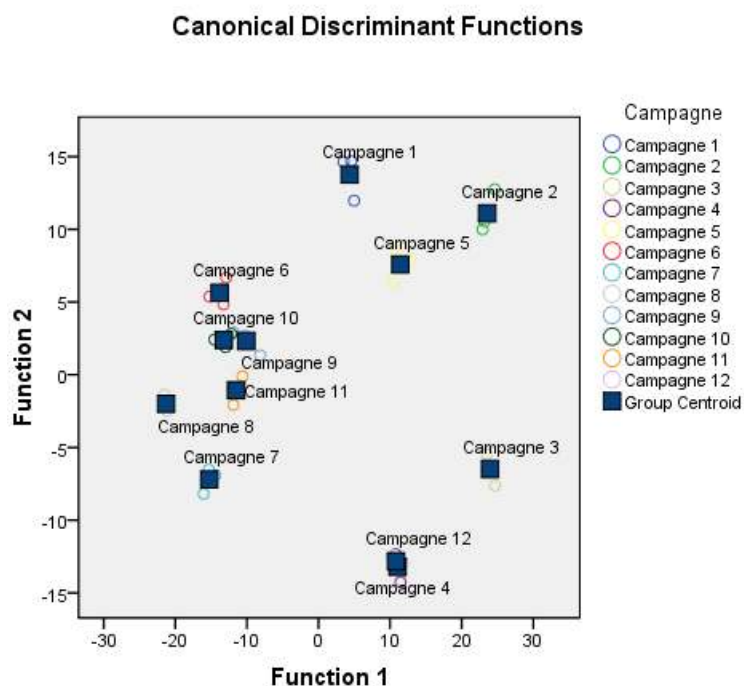


Fig. 8. Groupage des campagnes par application du test de Manova

3.3 ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE ET DEGRÉ DE POLLUTION DES EAUX

Les résultats des analyses bactériologiques de l'eau de la rivière sont représentés sur les graphiques de la figure 9. On note une concentration de coliformes et streptocoques en saison sèche. Durant la saison pluvieuse, la diminution de leur concentration serait à la rareté de l'oxygène indispensable au suivi de ces microorganismes.

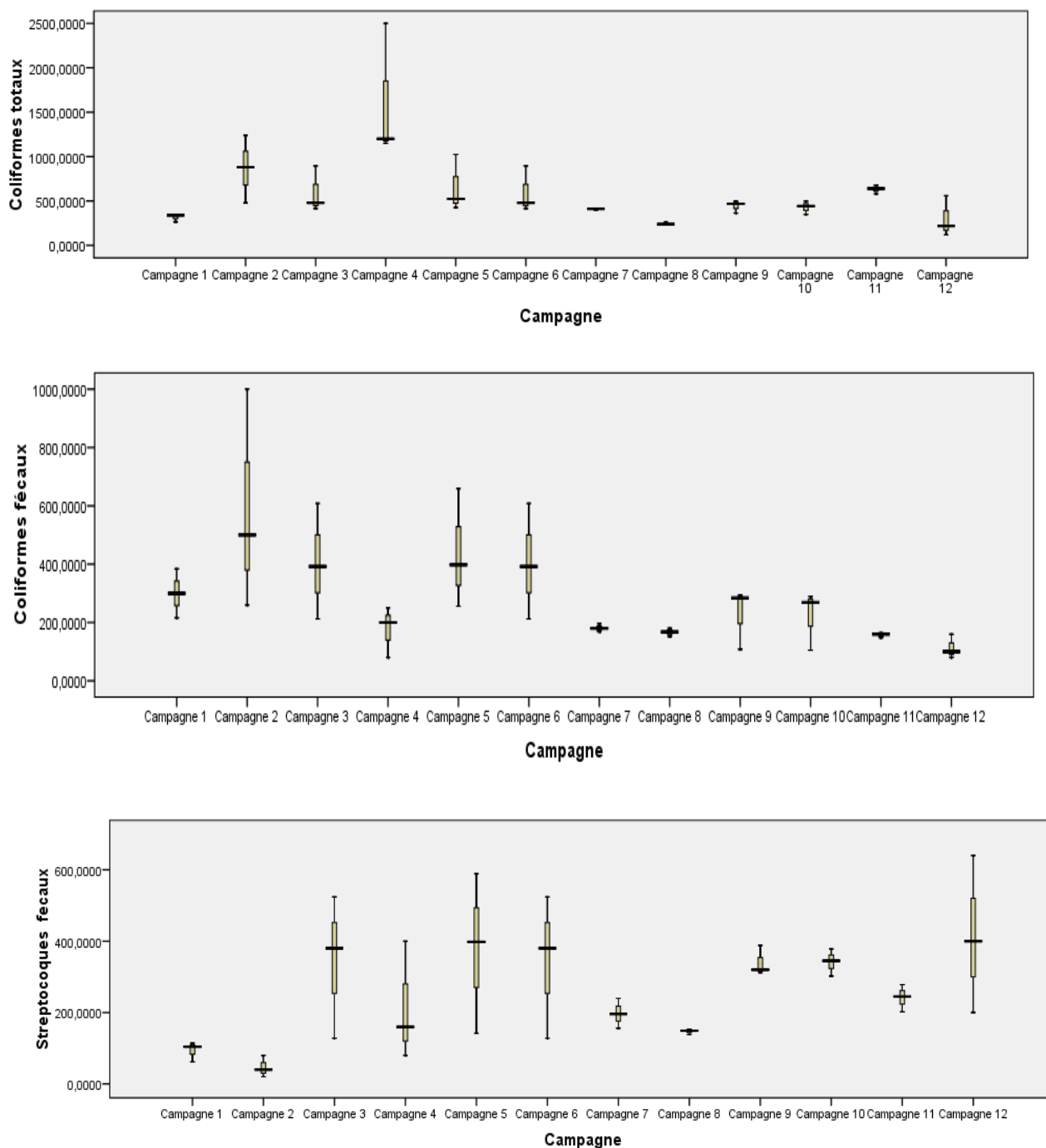


Fig. 9. Variation saisonnières du taux des espèces microbiologiques déterminés dans les eaux

La présence en plein temps de ces microorganismes confirme l'influence d'une forte pollution fécale de la rivière. Ces derniers justifient la prévalence élevée de maladies diarrhéiques et de dermatoses signalée par les agents de santé des localités riveraines. Se référant à la limite des classes de l'Indice de Pollution Organique (Leclercq, 2001), l'indice de pollution organique des eaux a été évalué à différent point de prélèvement. Ce dernier est nul le long de la rivière puis sur faible ces deux bras. En effet les principales sources de pollution organique de la rivière sont d'une part le dépôt des branchages d'acajas, les dépotoirs sauvages d'ordures implantés le long de la berge du cours d'eau. Les apports de phosphore par lessivage des bassins versants en amont généralement occupés par des déchets solides ménagers. Un fonctionnement différent concernant l'enrichissement du milieu en azote et phosphore peut être envisagé. Il apparaît que les eaux usées jouent un rôle majeur dans les apports

d'azote, alors que le fleuve Ouémé qui draine les eaux du bassin de l'Ouémé supérieur à forte exploitation d'engrais pour les champs de coton apporterait une grande partie du phosphore (Mama et al, 2011).

3.4 DISCUSSION

La pollution des eaux de surface pourrait être source de diverses maladies (choléra, typhoïde, hépatites, bilharziose et intoxications chimiques). Le long du bassin versant de la rivière Sô, Les intenses activités agricoles et l'importante quantité de branchages servant à la construction de piège à poissons qui y sont quotidiennement déversées par les pêcheurs dans le cadre des activités halieutiques libèrent de grandes masses d'éléments chimiques. Les produits chimiques libérés peuvent pénétrer l'écosystème et s'intégrer dans les matières en suspension, ce qui représente un énorme danger pour les organismes aquatiques (Noumon et al, 2015).

Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques étudiés montrent de grandes variations suivant la saison pluviométrique. La température des eaux est généralement supérieure à 25°C, température favorable pour le développement des bactéries, des parasites, des larves de moustique et autres germes microbiens (Pouomogne, 1998), arrivant à un maximum de 29,4°C en saison sèche. Ces valeurs confirment plusieurs travaux dans le secteur d'étude ou des milieux similaires (Tchakonté et al, 2015). Les pH des eaux se situent entre 6,7 à 7,6 et sont comprises dans la limite des normes requises ; la rivière Sô est classé eutrophe. Ces valeurs proches de la neutralité sont caractéristiques de la majorité des eaux de surface et n'indiquent ni pollution acide ni pollution basique des eaux de la rivière. Elles traduisent selon la grille de Beaux (1998) des eaux de bonne qualité et surtout pour l'aquaculture. Toutefois de fortes valeurs par endroit obtenues témoignent l'activité photosynthétique des phytoplanctons, L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.

Une forte minéralisation des eaux de la rivière en saison sèche est à signalée compte tenu des valeurs de la conductivité électrique enregistrées (valeur supérieure à 5000µS/Cm). Cette augmentation de la conductivité électrique avec la température en période sèche serait liée à la concentration des sels dans l'eau (Bontoux, 1993). Ce qui justifie les fortes teneurs en salinité, facteur limitant pour certaines espèces larvaires (Louah, 1995). La minéralisation des eaux de la rivière Sô indique des proportions d'éléments chimiques en suspension (les bicarbonates, le magnésium et les ions calcium) à des concentrations relativement faibles en période sèche. La présence de ces deux cations (magnésium et calcium) dans l'eau rassure du faible degré de toxicité en métaux lourds. Ceci pourra être vérifié par un dosage des métaux lourds en présence. Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Les valeurs obtenues montrent que les eaux de la rivière sont très bien oxygénées, le cours d'eau est en bon état. Ces résultats sont semblables à ceux de Chouti et al, (2010). D'après Koudénoukpo et al (2017), ces auteurs indiquent que la teneur en oxygène donne des indications sur la santé en des cours d'eau et permet, entre autres d'évaluer la qualité des habitats des poissons. Les valeurs d'oxygène comprise dans cette gamme est acceptable pour le stade initial et les autres stades de vie dans les écosystèmes tropicaux conformément aux recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (CCME, 2011).

Les valeurs d'oxygène trouvées sont accompagnées par une augmentation des solides totaux dissous traduisant des conditions plus favorables à la dégradation de la charge organique. Ce paramètre fait partie intégrante du métabolisme de l'écosystème. Les poissons et autres animaux en consomment pour le maintien de leur métabolisme (phénomène de respiration cellulaire). La satisfaction des besoins en oxygène est assurée par la DBO₅ et la DCO. Les valeurs très élevées obtenues en saison sèche expliquent la décomposition des macrophytes dans la rivière et l'absence de dilution par les eaux douces (fleuve Ouémé ou eaux de pluie). La décomposition de tous ces végétaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous, et va s'accompagner d'une désoxygénation du milieu, en particulier à l'interface eau/sédiment. Les eaux de la rivière Sô présentent des quantités non négligeables d'éléments azotés. L'ammoniaque représentée souvent sous forme d'ion ammonium (NH₄⁺) présente des valeurs faibles. D'après Hébert et Légaré (2000), dans un milieu bien oxygéné, l'ammonium est rapidement utilisé et sa concentration est faible. Les teneurs retrouvées, ne présentent donc pas un risque pour la rivière Sô car celle-ci est bien oxygénée. Les concentrations élevées de nitrate s'expliquent prioritairement par la présence des déchets ménagers et commerciaux de toutes sortes produits par les riverains. Les nitrites présents peuvent affecter le développement des espèces aquatiques, car une eau renfermant des nitrites même à faible doses, peut être considérée comme suspecte, voire létale, pour les poissons (Vissin et al, 2010). Dans ces travaux dans le même secteur d'étude, Koudénoukpo et al (2017) ont montré que ces taux s'expliquent par les conditions d'anaérobiose existants par endroits par l'abondance des macrophytes et favorisant une nitrification assez poussée des matières organiques. Les teneurs en sels nutritifs surtout azotés et phosphorés sont drainés par les eaux de ruissellement chargées de produits de lessivage des bassins versants et par l'arrivée des eaux continentales, riches en matières organiques (Dovonou et al, 2011). Elle est également liée à

l'usage abusif des engrais chimiques lors des activités agricoles qui se développent le long du bassin versant de la rivière ainsi qu'à l'élevage des porcs et bœuf qui sont laissés en divagation laissant d'importantes quantités de déjections dans la rivière.

4 CONCLUSION

Les résultats de ce travail ont permis d'évaluer l'état de vulnérabilité à la pollution de la rivière Sô. Les informations obtenues montrent une évolution saisonnière des paramètres physico chimiques et bactériologiques. Les concentrations en nutriments déterminent un système eutrophe. La charge de matière phosphorée issue du contact avec le fleuve Ouémé est plus importante. En période de hautes eaux, on assiste à un effet de dilution importante surtout pour la charge organique dont les apports semblent plus dépendre des villages lacustres. Si la pollution organique n'est pas trop poussée à l'échelle du secteur d'étude, la présence des composés azotés et la pollution chimique plus au moins importante, d'origine agricole peut influencer directement le régime des eaux souterraines, puisque la majeure partie de la pollution des eaux souterraines vient de l'eau de surface polluée. D'ailleurs, l'usage excessif et non-raisonnable des pesticides dans l'agriculture est un facteur de pollution principal des eaux de surfaces comme il a été également rapporté par plusieurs auteurs. Face à cette situation, pour éviter toute crise liée à la santé publique, des dispositions nécessaires doivent être prise en vue d'une meilleure gestion intégrée de la rivière et de son bassin versant.

REFERENCES

- [1] Adité A, Winemiller KO, Fiogbé ED, 2006 : Population structure and reproduction of the African bonytongue, *Heterotis niloticus* in the Sô River foodplain system (West Africa): implications for management. *Ecology of Freshwater Fish* 2006: 15: 30-39.
- [2] Afnor xp x30 – 411. 1996. Guide d'élaboration de procédures d'échantillonnage.
- [3] Beaux JF, 1998 : L'environnement, Repères pratiques, Nathan, 160p
- [4] Belkhiri L, Boudoukha A, Mouni L, Baouz T, 2010 : Multivariate statistical characterisation of groundwater quality in Ain Azel plain, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol.4(8), pp.526-534.
- [5] BONToux J. (1993) : Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles eaux usées, eaux de boisson. Cebedoc ed., Liège, p169.
- [6] Chouti W, Mama D et Alapini F, 2010 : Études des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Journal of Applied Biosciences* 4 (4): 1017-1029.
- [7] Dèdjiho C. A., Mama D., Tomètin L., Nougbodé I., Chouti W., Sohounhloué D.C.K. et Boukari M., 2013 : Évaluation de la qualité physico-chimique de certains tributaires d'eaux usées du lac Ahémé au Bénin. *Journal of Applied Biosciences* 70 : 5608- 5616.
- [8] Djibril R. 2001 : Impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides sur la qualité de l'eau de surface dans la réserve de la biosphère de la Pendjari. Mémoire de fin de formation CPU/UAC, 160 p.
- [9] Flavien DOVONOU, Martin AINA, Moussa BOUKARI, Abdoukarim ALASSANE, 2011 : Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : cas du lac Nokoue au Sud Benin, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(4): 1590-1602, August 2011
- [10] Kiossa C, 2011 : Biodiversité et exploitation de la rivière de la rivière Sô au Bénin. Mémoire de fin d'étude de Master, Université d'Abomey-Calavi, 102 p.
- [11] Koudenoukpo Zinsou Cosme, Chikou Antoine, Adandedjan Delphine, Hazoumé Rodrigue, Youssao Issaka, Mensah Guy Apollinaire, Lalèye A. Philippe, 2017 : Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud-Bénin, *Afrique de l'Ouest..J. Appl. Biosci.* 2017
- [12] Lalèye P, 1995 : Écologie comparée de deux espèces de *Chrysichthys*, poissons Siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire « Lac Nokoué-Lagune de Porto-Novo » au Bénin. Thèse de doctorat, Université de Liège, 199p.
- [13] LOUAH M.A. (1995) : Ecologie des Culicidae (Diptères) et état du paludisme dans la péninsule de Tanger, Thèse d'état Es-sciences Fac. Sc. Tétouan, p 266
- [14] Mama D, Chouti W, Alassane A, Changotade O, Alapini F et Boukari M, 2011 : Étude dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Int J. Chem. Sci* 5 (3) :1278-1293.
- [15] Mama D. 2010 : Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Benin). Thèse de doctorat, Université de Limoges ; 157p.
- [16] Noumon CJ, Mama D, Dèdjiho CA, Agbossou E et Iboureira S, 2015 : Evaluation de la qualité physico-chimique et du risque d'eutrophisation de la retenue d'eau de Kogbétouhoué (SudBénin). *Journal of Applied Biosciences* 85: 7848- 7861.
- [17] Ogutu –Ohwayo R, Hecky RE, Cohen SA, Kauf L. 1997 : Human Impacts on the African Great Lakes. *Environmental Biology of Fishes*, 50: 117–137.

- [18] Pouomogne V, 1998 : Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poisson à coût modéré. Presse Universitaire d'Afrique, Yaoundé, 263p.
- [19] Rodier J, 2009 : L'analyse de l'eau. Dunod, 9ème édition, 1526 p.
- [20] Tchakonté S, Ajeegah G, Diomandé D, Camara A, Konan M et Ngassam P, 2015 : Impact of anthropogenic activities on water quality and Freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroun. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 4: 183 194.
- [21] Tométin Lyde 2008 : Etude de la biodisponibilité et de la mobilité du phosphore des sédiments, responsable du phénomène d'eutrophisation du lac Nokoué. Mémoire de DEA, FAST, Université d'Abomey Calavi
- [22] Vissin E, Sintondji L et Houssou C, 2010 : Étude de la pollution des eaux et de la contamination du Tilapia guineensis du chenal de Cotonou par le plomb. RGLL, n°08.

Cartographie lithostructurale des formations birimiennes par les méthodes magnétique et spectrométrique à rayonnement gamma du secteur d'Anikro (Centre de la Côte d'Ivoire)

[Lithostructural mapping of Birimian formations by magnetic and spectrometric gamma-ray methods of Anikro area (Center of Côte d'Ivoire)]

KOUAME Loukou Nicolas¹, N'DEPO Yanick Herman¹, KOUAKOU Kouassi Eric Germain², DJROH Simon Pierre¹, and SOMBO Boko Célestin¹

¹Laboratoire de Géophysique Appliquée, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Département de Géosciences, Unité de Formation et de Recherche des Sciences Biologiques Université Péléforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 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 research, carried out in Anikro sector, located in north-west of Toumodi, in central Côte d'Ivoire, proposes to bring geology clarifications of this part of Ivorian territory from geophysics survey. The results reveal two lithological sets, one magnetic, poor in radionuclides, especially Potassium (K) and the other weakly magnetic, with high content certain radionuclides such as Potassium. Magnetic unit consists basic volcanic and plutonic rocks (basalts, pyroclastites, gabbros, volcano-sediments, green rocks) and weakly magnetic set consists volcanic and plutonic acid formations (granites, granodiorites, metarhyolites) probably in intrusion into volcano-sediments.

Structurally, a thrust fault system with N-S, NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW and E-W preferential directions that could correspond to narrow shear zones has been identified. This fault system could be metalliferous mineralization site associated with Birimian formations.

KEYWORDS: Côte d'Ivoire; geophysics; radioelement; volcano-sediment; mineralization.

RESUME: Cette étude, réalisée dans le secteur d'Anikro, situé au Nord-Ouest de Toumodi au centre de la Côte d'Ivoire, se propose d'apporter des éclaircissements sur la géologie de cette partie du territoire ivoirien à partir d'un levé géophysique. Les résultats révèlent deux ensembles lithologiques dont l'un, magnétique pauvre en radioéléments surtout le Potassium (K) et l'autre, faiblement magnétique, contenant des teneurs élevées en certains radioéléments comme le Potassium. L'unité magnétique est constituée de roches volcaniques et plutoniques basiques (basaltes, pyroclastites, gabbros, volcano-sédiments, roches vertes) et l'unité faiblement magnétique est constituée, quant à elle, de formations volcaniques et plutoniques acides (granites, granodiorites, métarhyolites) venues probablement en intrusion dans les volcano-sédiments.

Sur le plan structural, un système de décrochements avec des directions préférentielles N-S, NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW et E-W qui pourraient correspondre à des couloirs étroits de cisaillement a été identifié. Ce système de failles serait le siège de minéralisations métallifères associées aux formations birimiennes.

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire ; géophysique ; radioélément ; volcano-sédiment ; minéralisation.

1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, les productions aurifères sont principalement tirées des formations birimiennes qui sont essentiellement constituées de roches vertes, très recherchées au cours des travaux d'exploration minière [1]. La Côte d'Ivoire possédant la plus grande partie des formations birimiennes en Afrique occidentale, soit environ 35 % [2], est classée 5^e pays producteur d'or en Afrique de l'Ouest car elle offre un faible taux de ressources aurifères jusqu'à présent. Cela montre que l'ensemble du potentiel minier de la Côte d'Ivoire reste encore peu exploré. C'est dans ce cadre que ce projet de recherche a été initié. L'objectif de ce travail est donc de proposer une cartographie précise des formations et structures géologiques pouvant dévoiler, si possible, la présence de nouveaux gîtes aurifères dans la localité d'Anikro, au centre de la Côte d'Ivoire.

2 CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

La localité soumise à cette étude appartient à la région du Béliér, dans le département de Toumodi, au centre de la Côte d'Ivoire. Il s'agit d'un site situé à côté du village d'Anikro, localisé précisément entre les latitudes 732000 m et 735000 m Nord et les longitudes 266000 m et 269000 m Est (WGS64 / UTM Zone 30N) (figure 1).

Du point de vue géologique, le secteur d'Anikro appartient au sillon volcano-sédimentaire de Fèttèkro-toumodi-Hiré qui renferme des volcanites basiques, intermédiaires et acides ; des roches vertes, des métaconglomérats et des plutonites intermédiaires à acides [3], [4]. La tectonique est marquée par une direction générale des formations birimiennes NNE-SSW [5], [6] (figure 2).

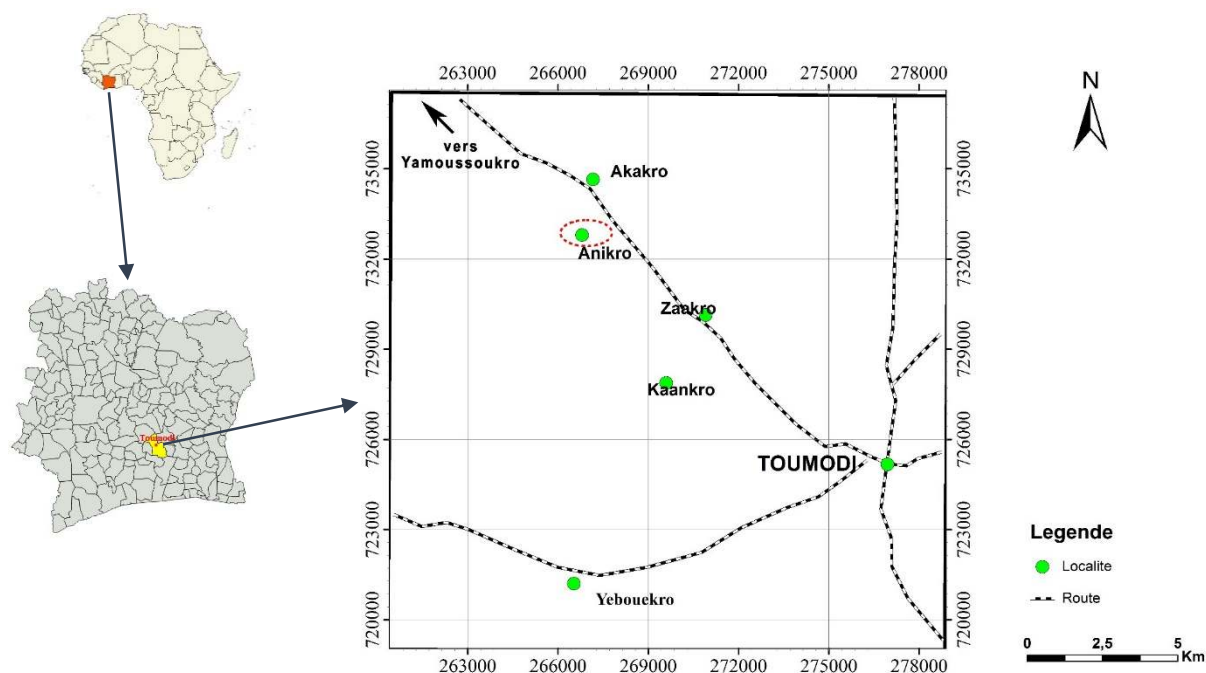


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude (Anikro)

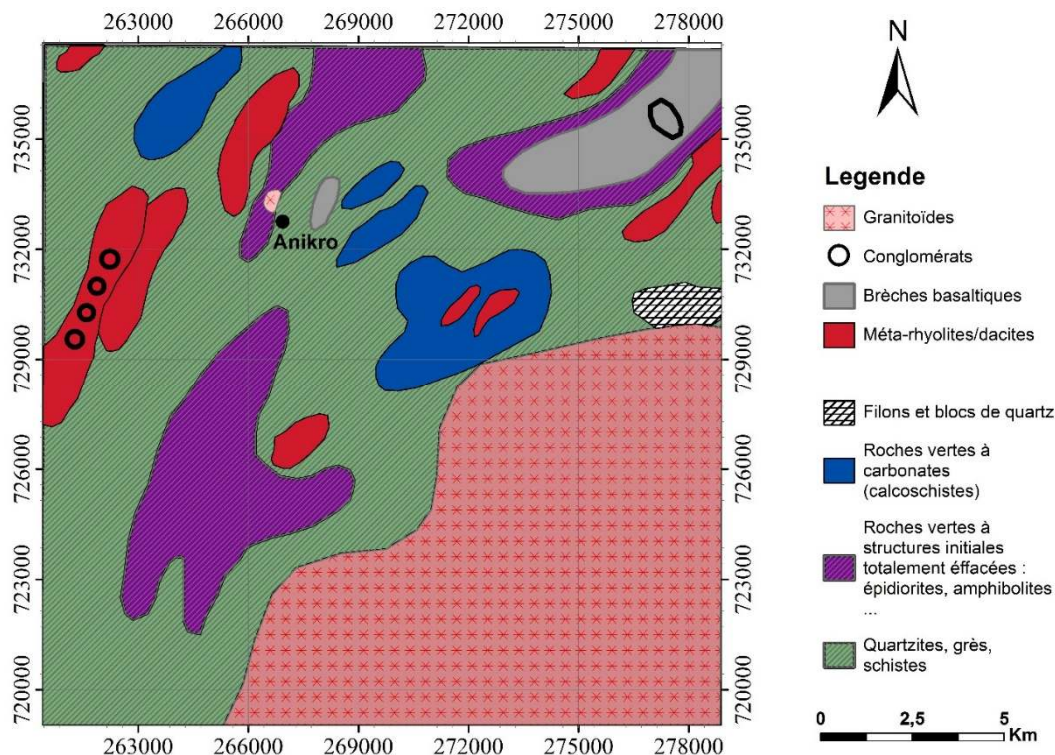


Fig. 2. Carte géologique de la zone d'étude [6]

3 MATERIEL ET METHODES

Pour cette étude, une grille de prospection de 100m x 25m, couvrant une superficie de 30 ha a été réalisée. Les mesures ont été effectuées sur un ensemble de six (6) layons d'une longueur de 600m chacun, ayant une orientation N130°.

3.1 LEVÉ MAGNÉTIQUE

Lors de cette campagne, un magnétomètre G-856AX de Geometrics a été utilisé pour la prise des mesures magnétiques. La prospection magnétique consiste à mesurer le champ magnétique terrestre dans la localité d'Anikro. On injecte premièrement un courant électrique variable dans le capteur du magnétomètre, induisant un champ magnétique qui va exciter les protons d'hydrogène libres, contenus dans l'ampoule du capteur, en dipôles magnétiques. Puis, sous l'effet du champ magnétique ambiant, ces dipôles magnétiques vont s'orienter dans sa direction en emmagasinant de l'énergie magnétique : c'est le phénomène de la polarisation magnétique. Lorsque l'injection du courant cesse, le champ induit dans le capteur s'estompe et les dipôles magnétiques, cherchant à retrouver leur état d'équilibre initial, vont restituer l'énergie magnétique emmagasinée qui est convertie en intensité du champ magnétique terrestre et affichée à l'écran du magnétomètre. Cette valeur du champ magnétique obtenue se rapporte à la susceptibilité magnétique des roches sous-jacentes et à la variation diurne du champ magnétique.

3.2 LEVÉ RADIOMÉTRIQUE

Ici, on s'est servi du spectromètre Super-Spec GT-32 de Georadis pour la mesure des émanations radioactives de type gamma. Le levé spectrométrique consiste à mesurer le rayonnement gamma émis par les radioéléments les plus abondants dans l'écorce terrestre comme le Potassium (^{40}K), l'Uranium (^{238}U) et le Thorium (^{232}Th). On mesure les interactions des photons gamma émis par les radionucléides avec le détecteur de l'appareil. Un amplificateur accentue les impulsions de charge électrique résultant de ces interactions. L'émission de rayons gamma par les radionucléides des formations géologiques est mesurée dans le taux de comptage selon la région d'énergie caractéristique de ce radionucléide, ensuite le processeur reconvertit les valeurs de comptage en pourcentage (%) pour K, et ppm pour U et Th permettant ainsi de quantifier les concentrations de ces trois (03) radioéléments dans une zone donnée.

Les logiciels MagMap2000, GeoView et Geosoft ont été utilisés pour l'extraction et le traitement des données.

3.3 CORRECTIONS ET FILTRES

3.3.1 CORRECTIONS DES DONNÉES MAGNÉTIQUES ET SPECTROMÉTRIQUES

3.3.1.1 CORRECTION DIURNE

Elle permet de corriger l'intensité du champ magnétique terrestre, affectée d'une variation journalière due aux effets solaires, selon les équations suivantes :

$$V_{corr} = V_i \pm (T_i - T_1) \cdot TD \quad \text{avec} \quad TD = \frac{B_2 - B_1}{T_2 - T_1}$$

V_{corr} : valeur corrigée du champ magnétique ; V_i : valeur brute du champ magnétique au temps T_i ; T_1, T_2 : temps de la 1^{ère} et 2^{ème} mesure à la station de base (SB), pour une boucle ; B_1, B_2 : valeur du champ magnétique à SB correspondant respectivement aux temps T_1 et T_2 ; TD : taux de dérive.

3.3.1.2 CORRECTION DU BRUIT DE FOND (BF)

Le procédé adopté pour ce travail est d'examiner avec le logiciel GeoView tous les canaux spectrométriques sur tous les profils de la zone d'étude et de déterminer le compte le plus bas sur chaque ligne, ensuite on calcule, pour chaque canal, une moyenne représentative du bruit de fond qui sera soustraite des valeurs brutes [7]. On trouve les valeurs suivantes (en coup par seconde) :

$$BF_{TC} = 16,68 \text{ cps} ; BF_K = 2,60 \text{ cps} ; BF_U = 0,18 \text{ cps} ; BF_{Th} = 0,06 \text{ cps}.$$

Les taux de comptage corrigés sont donnés par les formules suivantes :

$$\begin{cases} TC_{corr} = TC_{abs} - BF_{TC} \\ K_{corr} = K_{abs} - BF_K \\ U_{corr} = U_{abs} - BF_U \\ Th_{corr} = Th_{abs} - BF_{Th} \end{cases} \quad \begin{cases} TC_{corr}, K_{corr}, U_{corr}, Th_{corr} : \text{valeurs corrigées des canaux} \\ TC_{abs}, K_{abs}, U_{abs}, Th_{abs} : \text{valeurs brutes des 4 canaux} \\ BF_{TC}, BF_K, BF_U, BF_{Th} : \text{valeurs des bruits de fond} \end{cases}$$

3.3.1.3 CORRECTION DE L'EFFET COMPTON

Les radiations gamma de niveau d'énergie élevé produisent des excès de comptage dans les canaux de plus basse énergie (canaux U, K). Les formules utilisées pour ces corrections sont :

$$\begin{cases} U_{corr} = U_{abs} - \alpha \cdot Th_{abs} \\ K_{corr} = K_{abs} - \beta \cdot Th_{abs} - \gamma \cdot K_{abs} \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} K_{corr}, U_{corr} : \text{valeurs corrigées} \\ K_{as}, U_{abs}, Th_{abs} : \text{valeurs brutes} \end{cases}$$

$$\alpha = 0,45 ; \beta = 0,59 ; \gamma = 0,94 \text{ (coefficients de stripage standards) [7].}$$

3.3.2 FILTRES

Les filtres sont des transformées mathématiques qui sont appliquées sur les données magnétiques afin d'élaborer des cartes fournissant différentes informations d'ordre géologique. Pour ce travail, les différents filtres utilisés sont :

3.3.2.1 RÉDUCTION À L'ÉQUATEUR (REQ)

Aux basses latitudes magnétiques (inférieures à 45°), les anomalies magnétiques sont fortement asymétriques par rapport à leur source. Pour remédier à cela, on applique une REQ qui repositionnera les différentes anomalies à l'aplomb de leur source. Toutefois, la polarité des anomalies sera inversée et les corps magnétiques apparaîtront comme des "minima" plutôt que des "maxima" ; la graduation est donc inversée [8], [9]. Ce filtre est basé sur l'expression suivante [10]:

$$L(\theta) = \frac{[\sin(I) - i \cdot \cos(I) \cdot \cos(D - \theta)^2 \times (-\cos^2(D - \theta))]}{[\sin^2(Ia) + \cos^2(Ia) \cdot \cos^2(D - \theta)] \times [\sin^2(I) + \cos^2(I) \cdot \cos^2(D - \theta)]}$$

L(θ): champ ramené au plan équatorial ;

I : Inclinaison magnétique ;

D : Déclinaison Magnétique ;

θ : Direction du vecteur nombre d'onde (en degré azimuth) ;

Ia : Inclinaison pour la correction d'amplitude (**Ia>I**)

3.3.2.2 GRADIENT VERTICAL

Ce filtre numérique passe-haut est l'un des filtres de dérivations du domaine de Fourier. Il rehausse les réponses des sources superficielles et met en évidence les limites géométriques des corps [11], [12]. Ce filtre se traduit par l'expression suivante [10] :

$$L(r) = r^n$$

L(r): dérivée vertical de l'onde ;

n : Ordre de différentiation ;

r : nombre d'onde (en radians/m)

3.3.2.3 PROLONGEMENT VERS LE HAUT

Les données mesurées à une certaine distance h_0 de la surface du sol sont ramenées à une hauteur h_n relativement au plan d'observation, en supposant qu'il n'y ait pas de sources entre les deux (2) plans. Ce traitement est préconisé pour minimiser ou éliminer les effets des sources peu profondes ; ce qui fait ressortir les anomalies magnétiques profondes [13]. Cela se fait par l'expression suivante [10] :

$$\Delta F(x, y, -h) = \frac{h}{2\pi} \iint \frac{\Delta F(x, y, 0) \cdot dx \cdot dy}{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + h^2]^{\frac{3}{2}}}$$

ΔF : valeur du champ total prolongé à $z=-h$;

h : distance (en m) entre la source et le plan d'observation ($z=0$) ;

x, y : Coordonnées géographiques (en m)

Tous ces traitements sont utilisés pour mieux apprécier les contacts entre les structures géologiques dans le but d'affiner la carte géologique.

4 RESULTATS

4.1 MAGNÉTOMÉTRIE

L'intensité moyenne du champ magnétique terrestre mesurée dans la zone d'étude est de 32 459,40 nT, avec une inclinaison de $-13,7^\circ$ et une déclinaison de $-4,8^\circ$. Ces valeurs indiquent que le champ est orienté horizontalement en Côte d'Ivoire. Par conséquent, les formations géologiques ayant une susceptibilité magnétique élevée seront caractérisées par des faibles valeurs du champ magnétique (graduation inverse). En effet, proches de l'équateur, les corps basiques et ultrabasiques ont tendance à se comporter comme des corps à faible susceptibilité magnétique. Les résultats magnétiques (figure 3) présentent trois (3) gammes de couleurs indiquant trois (3) domaines géologiques dans la localité d'Anikro. Ainsi, les valeurs les plus élevées du champ magnétique terrestre, représentées par les couleurs vives (rouge à rose clair), correspondent aux formations faiblement magnétiques à cause de la graduation inverse ; les plus faibles valeurs, exprimées par les couleurs ternes

(bleu clair à bleu foncé), matérialisent les formations magnétiques et les couleurs intermédiaires (vert à jaune), quant à elles, traduisent les valeurs moyennes du champ magnétique redevables à la présence des volcano-sédiments. Les formations géologiques mises en évidence par les cartes de la figure 3 ont des formes allongées avec une orientation préférentielle NW-SE.

Du point de vue lithologique, les couleurs vives et ternes correspondent respectivement aux formations felsiques et basiques, en corrélation avec la carte géologique qui indique que les formations felsiques sont composées essentiellement de granitoïdes dont le granite, la métarhyolite et la granodiorite ; les formations basiques, quant à elles, sont constituées de volcanites basiques, volcano-sédiments et roches vertes. La transition entre les roches felsiques et basiques est assurée par le domaine moyennement magnétique, matérialisé par la coloration intermédiaire (vert à jaune). L'ensemble des formations géologiques rencontrées dans la localité d'Anikro est presque sub-affleurant comme l'indique la figure 3C. La chronologie de mise en place des deux principaux domaines, felsique et basique, n'est pas clairement établie par l'interprétation des différentes cartes magnétiques de la figure 3. Néanmoins la disparition de certaines anomalies faiblement magnétiques sur la figure 3D fait penser à une venue tardive des roches felsiques (granitoïdes) dans un encaissant basique.

Au plan structural, les cartes (figure 3) révèlent la présence de nombreuses failles qui parcourent le socle précambrien de la localité d'Anikro. Ces fractures, avec une prédominance de structures décrochantes correspondent à des cisaillements dextres ou senestres qui affectent aussi bien les formations acides que basiques. Les cartes du champ magnétique total (figure 3A), de la réduction à l'équateur (figure 3B) et du gradient vertical (figure 3C) exposent cinq (5) directions préférentielles des fractures qui sont N-S ($N0^{\circ}$ à $N10^{\circ}$), NNE-SSW ($N20^{\circ}$ à $N30^{\circ}$) et NE-SW ($N40^{\circ}$ à 50°), ENE-WSW ($N60^{\circ}$ à $N70^{\circ}$) et E-W ($N80^{\circ}$ à $N90^{\circ}$). Ces faisceaux, organisés par endroits en "queue de cheval" (figure 3B et 3C) traduisent bien l'effet des structures décrochantes qui ont affecté la zone d'étude. Cependant, tous les décrochements n'ont pas entaillé profondément les formations géologiques, excepté la faille NE-SW (figure 3D) qui incise, à de grandes profondeurs, les roches de la localité d'Anikro. Cette faille est d'une importance capitale en exploration minière car elle constitue le lieu de drainage des fluides hydrothermaux, favorisant ainsi la mise en place d'une minéralisation métallifère.

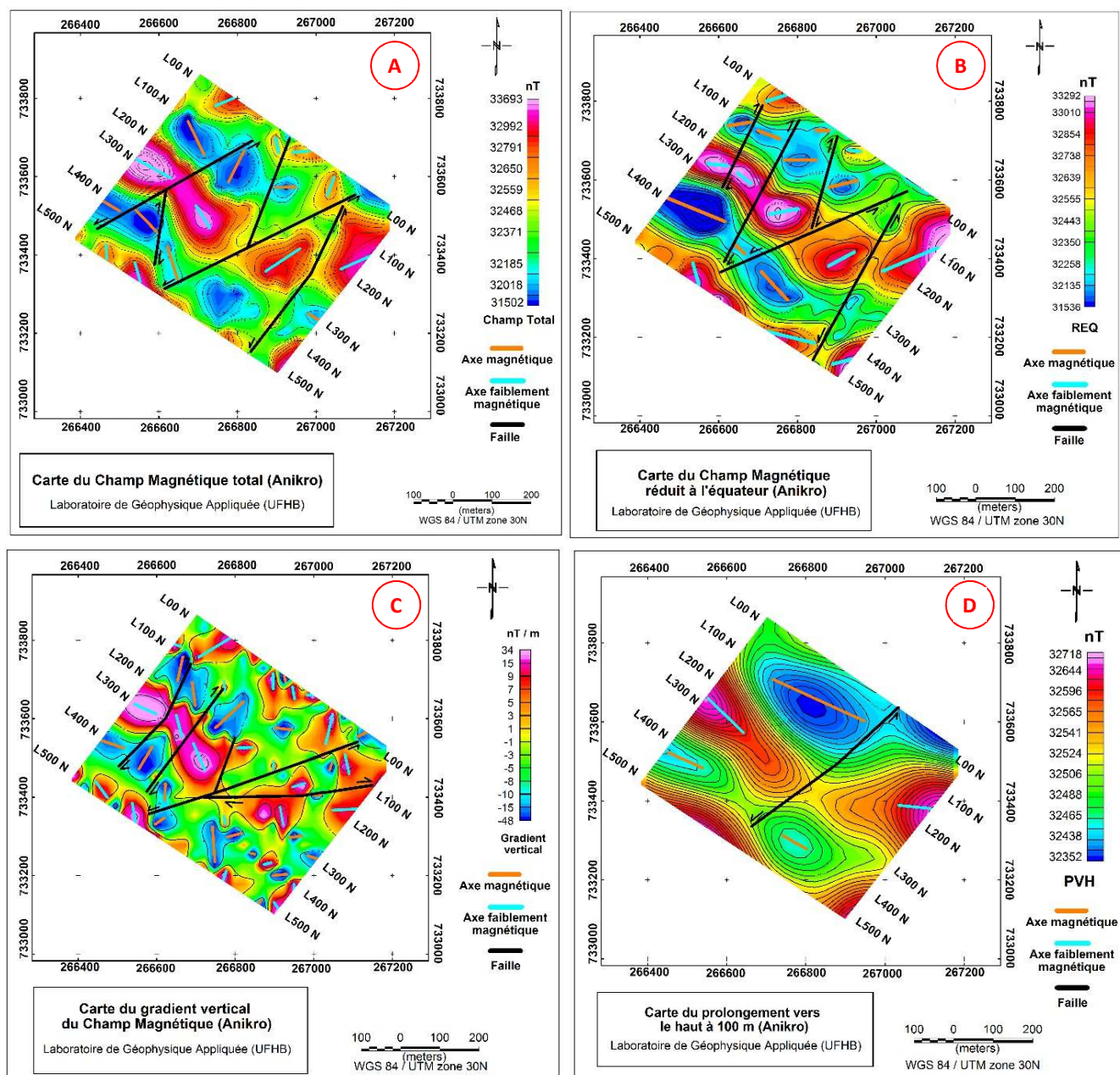


Fig. 3. Cartes magnétiques du secteur d'Anikro

4.2 SPECTROMÉTRIE GAMMA

L'examen de la figure 4 a permis d'identifier également trois (3) grands ensembles lithologiques représentés par différentes colorations. Ainsi, on a d'abord un domaine radioactif avec une abondance en K, matérialisé par la couleur magenta à rouge (figure 4A et 4B), ensuite un domaine peu radioactif contenant une faible concentration de potassium (K), désigné par la coloration bleue et enfin une zone intermédiaire (volcano-sédiments), représenté par la couleur verte. Dans le domaine radioactif, l'abondance en K est surtout liée à la présence des roches acides contenant les minéraux potassiques (Feldspath, Mica) qu'on trouve généralement dans les granitoïdes.

Le domaine faiblement radioactif, quant à lui, correspond certainement aux volcanites basiques et à certaines roches vertes car ceux-ci renferment une rareté de minéraux potassiques. L'aspect globalement circulaire (figure 4A) du domaine radioactif (formations felsiques) fait penser à une intrusion granitique dans des encaissants basiques et intermédiaires.

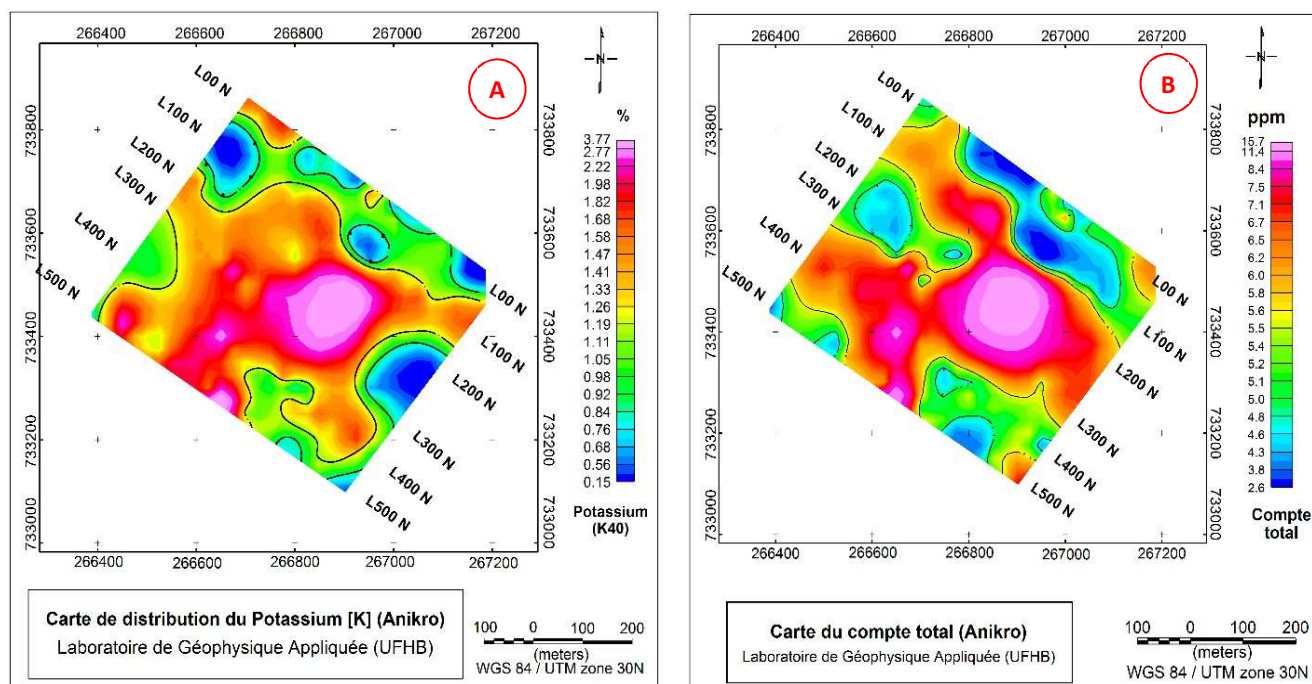


Fig. 4. Cartes spectrométriques du secteur d'Anikro

4.3 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS MAGNÉTIQUES ET SPECTROMÉTRIQUES

La corrélation entre les résultats magnétiques et spectrométriques a permis de dresser une carte lithostructurale (figure 5) qui montre les différents ensembles lithologiques et les grands traits structuraux de la localité d'Anikro. Ainsi, deux (2) grands types de formations géologiques peuvent être distingués :

- les volcanites basiques (laves basaltiques, microgabbro) et volcano-sédiments (pyroclastites verdâtres), pauvres en potassium et localisés aux extrémités de la zone d'étude ; ils constituent alors une ceinture de roches vertes. Dans cet ensemble, il faut signaler que les volcanites mélanocrates seraient en injection dans les volcano-sédiments verdâtres ;
- les granitoïdes (granites, granodiorites, rhyolites), avec une teneur en Potassium assez élevée et en intrusion dans les volcano-sédiments.

Les deux (2) principales formations (granitoïdes et roches vertes) sont pratiquement orientées dans la même direction (NW-SE). Par ailleurs, entre ces deux (2) grands domaines, il faut noter l'existence d'une zone de contact géologique qui matérialise des changements de faciès avec la recristallisation de certains minéraux sous l'effet de la venue tardive des granitoïdes ou des laves basaltiques dont leur mise en place aurait certainement provoqué un métamorphisme de contact (auréole métamorphique).

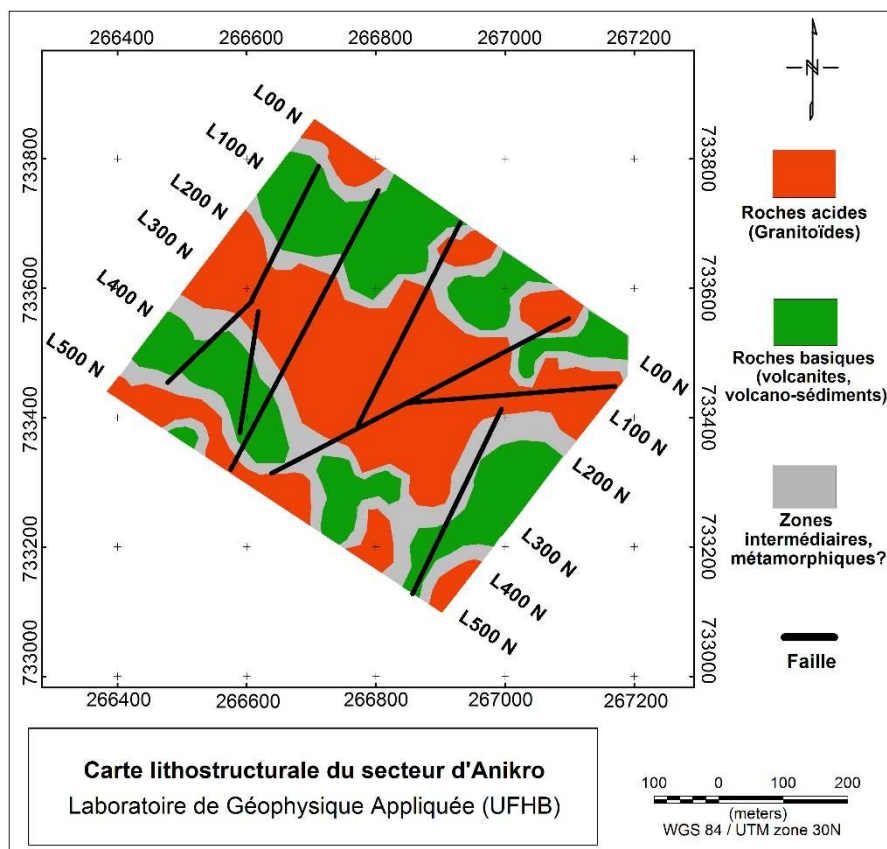


Fig. 5. Carte lithostructurale du secteur d'Anikro

Sur le volet structural, la figure 5 montre une prolifération d'accidents géologiques qui ont affecté l'ensemble des formations précambriennes du secteur d'Anikro, ce qui indique une activité intense de la tectonique cassante. Ces failles s'organisent en cinq (5) principales directions qui sont : N-S, NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW et E-W. Le principal caractère structural (organisation en "queue de cheval"), observé dans les formations précambriennes de la zone d'étude, est en bon accord avec le modèle cinématique en liaison avec un mouvement de décrochement dextre ou senestre.

5 DISCUSSION

5.1 AU PLAN LITHOLOGIQUE

Ce travail indique clairement que le site d'Anikro est constitué de deux (2) principaux domaines géologiques :

- le domaine magnétique et faiblement radioactif, est caractérisé par une faible intensité du champ magnétique terrestre (31502 à 32185 nT) et de faibles teneurs en Potassium (0,15 à 0,84%). Ce domaine correspond aux formations ayant une abondance en minéraux ferromagnésiens mais pauvres en Potassium. Ces formations sont constituées de roches basiques (basaltes, gabbros, volcano-sédiments, roches vertes).
- le domaine faiblement magnétique et radioactif, quant à lui, est caractérisé par une élévation de l'intensité du champ magnétique terrestre (32559 à 33693 nT) et possédant des concentrations élevées en Potassium (1,30 à 3,77%). Ce domaine est formé d'un ensemble de granitoïdes, composé de granites, granodiorites et de méta-rhyolites. Il faut signaler la présence par endroits d'enclaves de roches mélanocrates (microgabbro) dans les formations granitiques.

Ces formations ont été également rencontrées dans la zone d'étude par [6] lors de ses travaux dans la région de Toumodi-Divo en publiant la carte géologique de cette région à l'échelle 1/200 000. En effet, en plus de ces formations susmentionnées, il décrit également des orthoschistes ou calcoschistes dérivant de laves andésitiques à basaltiques.

Le site d'Anikro est très comparable à celui de Zahakro car ils appartiennent à la ceinture de roches vertes du sillon birimien de Toumodi-Fètêkro [6] où des ensembles magnétiques occupent la quasi-totalité des différents secteurs.

[14] ont également identifié ces ensembles lithologiques (tufs, rhyolites, brèches et schistes) lors de leurs travaux dans la localité de Zahakro. En plus de ces formations géologiques, ils ont identifié aussi des granodiorites et des andésites. [15] a indiqué qu'il y a une prédominance des plutonites sur les volcanites. En effet, le secteur Akakro-Anikro renferme des volcanites basiques, intermédiaires et acides ; des métaconglomérats et des plutonites intermédiaires à acides. Les faciès intermédiaires et acides sont dominants sur les basaltes.

Egalement, les travaux de [16], ont permis d'avoir une idée exacte de la nature pétrographique des formations paléoprotérozoïques de zahakro. Ils décrivent le premier ensemble comme étant constitué de roches vertes (métabasaltes, métadolérites, métagabbros, amphibolites et pyroclastites). Le second ensemble, quant à lui, est constitué de métarhyolites et métadacites. Certaines roches sont schistosées, d'autres, plus nombreuses ont conservées leur structure massive. Ce sont en général des affleurements, soit subcirculaires circonscrits à l'intérieur des roches vertes, ou en petites bandes étroites (filons) à l'intérieur ou à la périphérie des roches vertes, soit en bandes plus ou moins étendues et plus ou moins liées aux roches vertes, soit en gros gisements quelque peu indépendants des roches vertes. Ces auteurs signalent également la présence de conglomérats à galets dacitiques au Sud-Ouest d'Anikro.

5.2 AU PLAN STRUCTURAL

Cette étude montre une orientation NW-SE des formations précambriennes du site d'Anikro ; ce qui est contraire à la direction birimienne (NE-SW) mise en évidence par la plupart des auteurs. Les travaux de [17] dans la localité de Zahakro, département de Toumodi, ont également mis en exergue ces formations orientées NW-SE. Selon cet auteur, cette orientation serait associée à la direction libérienne dont l'orogénèse n'aurait toutefois pas affectée cette localité. De même, [18] ont mis en évidence des batholites granitiques allongés suivant la direction NW-SE et intrudant la ceinture de roches vertes birimiennes à Tera (Sud-ouest du Niger). Par ailleurs, [19] indiquent que cette direction est celle de la fracturation post-éburnéenne NW-SE, abritant le plus souvent des dykes doléritiques cartographiés au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire.

Il ressort de cette section que l'orientation NW-SE des formations géologiques du site d'Anikro est redevable à l'ouverture des fentes d'extension au cours de l'orogénèse éburnéenne favorisant ainsi la mise en place des formations magmatiques orientées NW-SE qui se superposent bien avec les dykes doléritiques du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire et déterminés par [20].

Le secteur d'Anikro est également affecté par un système de décrochements ayant les directions préférentielles suivantes:

- N-S (N5° à 10°) ;
- NNE-SSW (N25° à N30°) ;
- NE-SW (N40° à N50°) ;
- ENE-WSW (N60° à N70°) ;
- E-W (N80° à N90°).

Plusieurs travaux réalisés par [5] et [6] ont également mis en évidence ces directions préférentielles (NE-SW, NNE-SSW). Selon [21], de nombreuses fractures parcourent le socle de la région de Toumodi dans tous les sens, avec prédominance des décrochements (structure cisailante) dont ceux de directions NE-SW et NNE-SSW qui correspondent aux failles de Guiglo et de Soubré. Les travaux de [22], dans la localité de Bondoukou, ont aussi montré la présence des fractures NE-SW qui représentent la direction birimienne, en référence à la déformation tectono-métamorphique majeure (orogénèse éburnéenne) qui a le plus marqué le domaine Protérozoïque de Côte d'Ivoire [23], [24]. Cela indique l'appartenance birimienne de la zone d'étude, avec probablement d'importantes zones de cisaillement.

De même, les travaux de nombreux auteurs dont [25], [2] ont montré que les failles N-S étaient assimilables à la faille de Sassandra et à la large bande de décrochement senestre N-S qui a affecté la région du N'zi, nommée « décrochement ductile Brobo » par [25]. Ce décrochement a été également évoqué par [26], qui l'associe à la phase D2 de l'orogénèse éburnéenne, responsable de la structuration NNE-SSW à ENE-WSW des séries birimiennes.

En outre, les études menées par [27] sur les granitoïdes du site du barrage de Taabo ont précisé que le décrochement NNE-SSW a occasionné une schistosité bien marquée avec présence de microplis ; la fracturation E-W, quant à elle, correspond par endroits à des diaclases dans les formations granitiques.

L'ensemble des failles mises en évidence dans ce travail présentent un intérêt fondamental car elles constitueraient le siège de minéralisations métallifères dans la localité d'Anikro.

6 CONCLUSION

Ce travail s'inscrit dans le contexte général de cartographie lithostructurale des formations birimiennes du secteur d'Anikro à partir des données magnétique et radiométrique. Ainsi, plusieurs cartes magnétiques et spectrométriques ont été confectionnées pour préciser la géologie de la localité d'Anikro. Il faut retenir que la zone étudiée est composée de deux (2) principaux domaines :

- un, de nature magnétique et faiblement radioactif, constitué de roches basiques dont des gabbros, basaltes, volcano-sédiments et pyroclastites verdâtres formant la ceinture de roches vertes ;
- l'autre, faiblement magnétique et radioactif, formé de roches acides, essentiellement de composition granitique (granites, méta-rhyolites, granodiorites), en intrusion dans les volcano-sédiments.

L'ensemble de ces formations géologiques offrent une orientation principale NW-SE.

Au plan structural, cette étude a révélé la présence d'un système de décrochements ayant plusieurs directions qui sont : N-S (assimilable à la faille de Sassandra) ; NNE-SSW à ENE-WSW (correspondant à la direction birimienne) et E-W.

REFERENCES

- [1] GNANZOU A. (2005). Étude lithostratigraphique de la région de Hiré (Permis de recherche PRA 37) : Implication à la connaissance de la minéralisation aurifère. DEA, Univ. Cocody Abidjan, 60 p.
- [2] HOWARD W.C. (2010). Investment Presentation. Rapport de Vital Metals Ltd., 16 p.
- [3] DAOUDA Y.B. (1998). Lithostratigraphie et Pétrologie des formations birimiennes de Toumodi Fètêkro : Implication pour l'évolution crustale du Paléoprotérozoïque du Craton Ouest-Africain. Thèse de Doctorat. Université d'Orléans, 191 p.
- [4] OUATTARA G., KOFFI G.B., YAO A.K., AGOH O. et YAO D.B. (2009). Caractérisation pétrographique et structurale du synclinal d'Anikro dans la région de Toumodi - Centre de la Côte d'Ivoire. Rev. Inter. Sci. De la vie et de la Terre, vol. 9, pp. 48-60.
- [5] VITALI G. (1970). Contribution à l'étude géologique du Birimien. Stratigraphie et structure du complexe volcano-sédimentaire de Fètêkro (Côte d'Ivoire). Note BRGM, 26 p.
- [6] YACE I. (1976). Le volcanisme éburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne précambrienne de Fètêkro en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat. Université d'Abidjan, 373 p.
- [7] GROUNE D. (2009). Analyse magnéto-spectrométrique des données aérogéophysiques du grand fossé pharusien (Hoggar Occidental). Mémoire de Magister. Université M'hamed Bougara-Boumerdes, Algérie, 143 p.
- [8] DAWSON J., ROBILLARD C. (2012). Interprétation des levés aéroportés gravimétriques et magnétiques effectués par U.S. Geophysics en 2009 sur les blocs 17 et 25. Rapport pour PETROMA, Mali, 14 p.
- [9] ALLARD et BOIS (1999). La géophysique en exploration minérale. Editions Louvicourt, Abitibi, Canada, 330 p.
- [10] GEOSOFT Inc. (2008). Oasis Montaj 7.0 Mapping and processing system. The core software platform for working with large volume spatial data. Quick start™ tutorials. 325 p.
- [11] BOUIFLANE M. (2008). Cartographies aéromagnétique et magnétique multi-échelles : étude structurale d'une région du Fossé Rhénan. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 193 p.
- [12] FLEURY S. (2011). Méthode magnétique appliquée à l'exploration multi-échelle du Bassin de Franceville. Thèse de Doctorat. Université de Strasbourg, 272 p.
- [13] GANIYU S.A., BADMUS B.S., AWOYEMI M.O., AKINYEMI O.D., OLUWASEUN T. (2013). Upward Continuation and Reduction to Pole Process on Aeromagnetic Data of Ibadan Area, South-Western Nigeria, Earth Science Research, vol.2, pp. 66 – 73.
- [14] MOREL B., SALVADO J. (1988). Carte géologique de Toumodi Nord au 1/50000. centre de la Côte d'Ivoire, Bull. de la Direction générale des Mines N°1, Abidjan
- [15] INZA C. (2013). Géochimie des volcanites et plutonites du secteur d Akakro-Anikro (région de Toumodi) : implication pétrogénétique et tectonique. DEA, Univ. Félix Houphouët Boigny, 63 p.
- [16] KOFFI B.G., OUATTARA G., OKAINGNI J.C., KOFFI L.K., COULIBALY Y., KOUAMELAN A.N. (2013). Caractérisation des anciens travaux miniers et modélisation du contexte métalotectique de la zone aurifère de zahakro (centre de la côte d'ivoire - afrique de l'ouest). Rev. Ivoir. Sci. Technol., 21 & 22, pp. 119-137.
- [17] GNAGUE O.T. (2015). Cartographie lithostructurale de la localite de zahakro (nord-ouest de toumodi) à partir des données magnétiques. Mémoire de Master, Univ. Félix Houphouët Boigny, 59 p.
- [18] GANNE J., DE ANDRADE V., WEINBERG R.F., VIDAL O., DUBACQ B., KAGAMBEGA N., NABA S., BARATOUX L., JESSELL M. ALLIBON J. (2011). Modern-style plate subduction preserved in the Palaeoproterozoic West African craton. Nature geoscience. ngeo1321. pp. 1-6

- [19] ILBOUDO H., LOMPO M., WENMENG U., NABA S., KAGAMBEGA N., TRAORE S.A. (2008). Caractères pétrographiques et structuraux des formations paléoprotérozoïques (birimien) du gîte à sulfures de tiébélé, Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Journal des Sciences*. Vol. 8, n° 3, pp. 37-50
- [20] DJRO S. C. (1998). Evolutions tectono-métamorphiques des gneiss granulitiques archéens du secteur de Biankouma-Touba (Nord-Ouest Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Cocody-Abidjan, 169 p.
- [21] YACE I. (2002). Initiation à la Géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest (Pétrologie et Géologie régionale). Edition CEDA – SODEMI, Abidjan. 183 p.
- [22] YOUAN TA M. (2008). Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : cas de la région de Bondoukou (Nord-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université de Cocody, 270 p.
- [23] CAMIL J. (1984). Pétrographie, chronologie des ensembles granulitiques archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire) : implication pour l'histoire géologique du craton Ouest-Africain. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelle. Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 306 p.
- [24] KOUAMELAN A.N. (1996). Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire. Implications pour la transition Archéen protérozoïque. Thèse de Doctorat, Géosciences, Rennes (France), 289 p.
- [25] LEMOINE S. (1982). Le décrochement ductile de Brobo, un linéament éburnéen majeur, son rôle possible dans l'orogénèse éburnéenne de Côte d'Ivoire. *Compte Rendu Académie des Sciences Paris*, vol. 295, série II, pp. 601-606.
- [26] MILESI J. P., FEYBESSE J.L., LEDRU p., DOMMANGET A., OUEDRAOGO M.F., MARCOUX E., PROST A., VINCHON C., SYLVAIN J. P., JOHAN V., TEGYEY M., CALVEZ J.Y., LAGNY P. (1989). Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest, leurs relations avec l'évolution lithostructurale du protérozoïque inférieur. *Chron. Rech. Min.*, Fr.497, pp. 3-98
- [27] KOFFI B.G., OUATTARA G. (2013). Etude Pétrographique et Structurale des Granitoïdes du Site du Barrage de Taabo (Centre de la Côte d'Ivoire): Contribution à la Compréhension des Pertes Possibles d'eau du Lac. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 2, No. 4, pp. 621-634.

Study of a micro-grid with renewable energy sources with hydrogen storage

Said Mohamed MARIAMA¹, Angel SCIPIONI¹, and Bernard DAVAT²

¹Université de Lorraine, Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Longwy (GREEN), 186, rue de Lorraine
54400 Cosnes et Romain, France

²Université de Lorraine, Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy (GREEN), 2, avenue de la forêt
de Haye TSA 60604 54518 Vandoeuvre lès Nancy, France

Copyright © 2018 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: We consider a micro-grid with renewable energy sources. The intermittency of productions and the desynchronization between production and consumption are solved by a hydrogen storage unit. The system consists of a photovoltaic generator, a wind turbine, an electrolyser, a fuel cell, a storage tank in the form of hydrogen (MgH₂). DC-DC (Boost) and DC-DC bidirectional converters (Buck-Boost) as well as DC-AC and AC-DC (wind turbine) converters provide connection to the DC bus and the network. Hydrogen storage ensures continuity of supplies for demand. The study is positioned within the framework of the territorial energy transition program set up by in Comoros.

KEYWORDS: micro-grid, renewable energies, fuel cell, electrolyser, battery, hydrogen storage, static converters.

1 INTRODUCTION

The micro-networks integrating ER sources constitute a major challenge for the future energy gives based on the fact that the energy asymptotic trajectories of fossil origins that are inevitably decreasing [1] or even disappearing, as well as the societal constraints that will be highly damaging. The main drawback of renewable energy sources, more specifically for wind and photovoltaic power, lies in their strong intermittent nature. Indeed, the production of electrical energy from these sources is highly dependent on the variability of weather conditions and rotations of our planet. This intermittency is at the origin of a lower penetration in the global energy contribution and causes the problem of the continuity of the supply by the electrical networks.

To overcome this deficit, it is customary to use storage devices that are mostly aimed at two ends, the short and the long term. In general, short-term energy storage is provided by a classically battery-type system. Although this solution may be of interest for this situation, it nevertheless remains that batteries do not necessarily appear to us as always optimal solutions, neither in terms of ecology (highly polluting metallurgy, toxic materials, corrosive substances) nor in terms of durability [2], [3] and recycling. That is why, in terms of long-term storage, it is a hydrogen solution that has been considered. The latter solution consists of an electrolyser, a fuel cell and a storage tank. Hydrogen initially stored in tanks during periods of production in which consumption is low or absent, can be used thereafter to generate electrical energy during periods of under-production or even lack of production by the sources renewable energies. The production of electrical energy via the fuel cell will have the purpose of balancing production and demand and thus ensuring the stability of the network in terms of supply. The architecture of the proposed micro-grid constitutes a topology that allows energy management in the context of the most effective (wind, PV, PAC, electrolyser) to respond to high specific powers [4], [5], [6]. In the literature devoted to it, numerous studies have proposed to optimize the design and architecture of micro-networks in a multi-source context through various configurations [7], [8], [9].

Therefore, the main aim of the current article is to design and study the behavior of a micro-grid made up of various renewable energy sources, but also an electrolyser, a fuel cell and associated converters. With the aim of ensuring optimum

quality of energy supply. We use HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) which is a software developed by the National Renewable Energy Laboratory of Canada to design hybrid systems such as stand-alone renewable micro-grids [10], [11], [12] or hybrid systems (HPS) connected to the network. HOMER evaluates hybrid systems from economic and technical points of view [13], [14], [15], [17], [18], [19], [20].

2 THE STUDY AREA AND THE PROFILE OF THE LOAD

The village considered in this study is Mbeni, which is located at $11^{\circ} 30'$ of latitude (south) and $43^{\circ} 23'$ of longitude on the north eastern coast of the Comoros Islands. The site is in a region that receives daily solar irradiation ranging from 6.03 to 7.25 kWh / m², with an average wind speed of 3.7- 4.2 m / s at a height of fifty meters. The system we want to deploy consists of a wind turbine, a PV field, a PEM electrolyser, a PEM fuel cell and a hydrogen storage tank. In an electrical feasibility test, the profile of the primary load is the most significant data [16], so we will use this quantity. In electricity management, the balance between power generation and demand is the crucial issue for a stable operating objective. It is also necessary that load data be as accurate as possible, that is why in our study we used the actual load profile of electricity consumed without modifying anything (no smoothing).

We used 24-hour load records for the 365 days of a year. Figure 2 shows the profile of the seasonal load of the city of Mbeni, Figure 3 shows the daily profile of the load and Figure 4 the DMap (The DMap is a type of graph highlighting one year of hourly data, each time of the year is represented by a colored rectangle according to the amplitude of the data). According to these results, It is during the months of April, August, September and November that people consume the largest amount of energy in the evening between 17 and 22 hours.

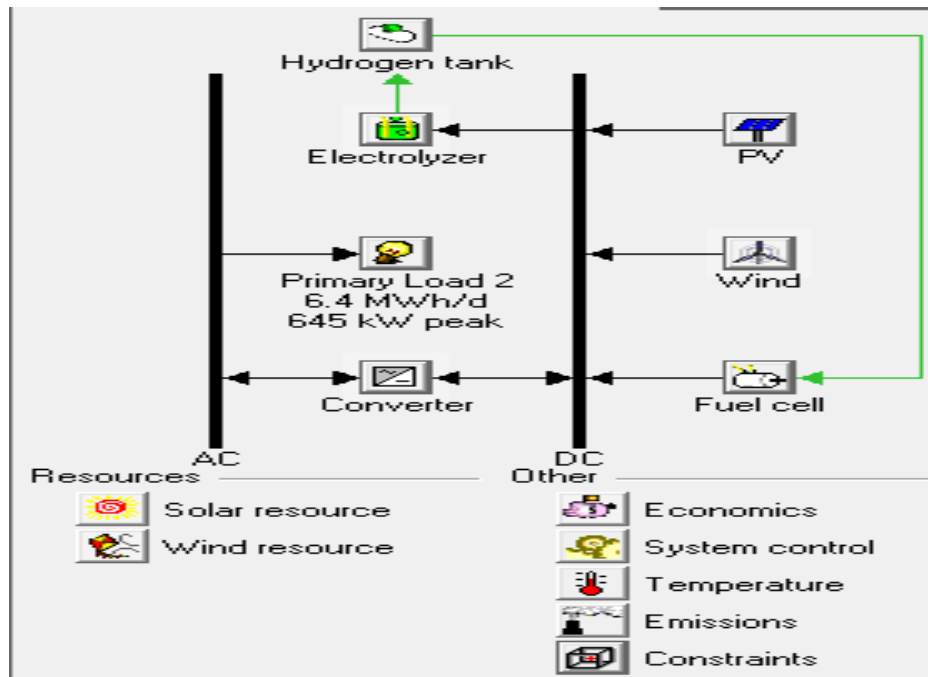


Fig. 1. Architecture of a micro-grid based on ENR system and hydrogen storage

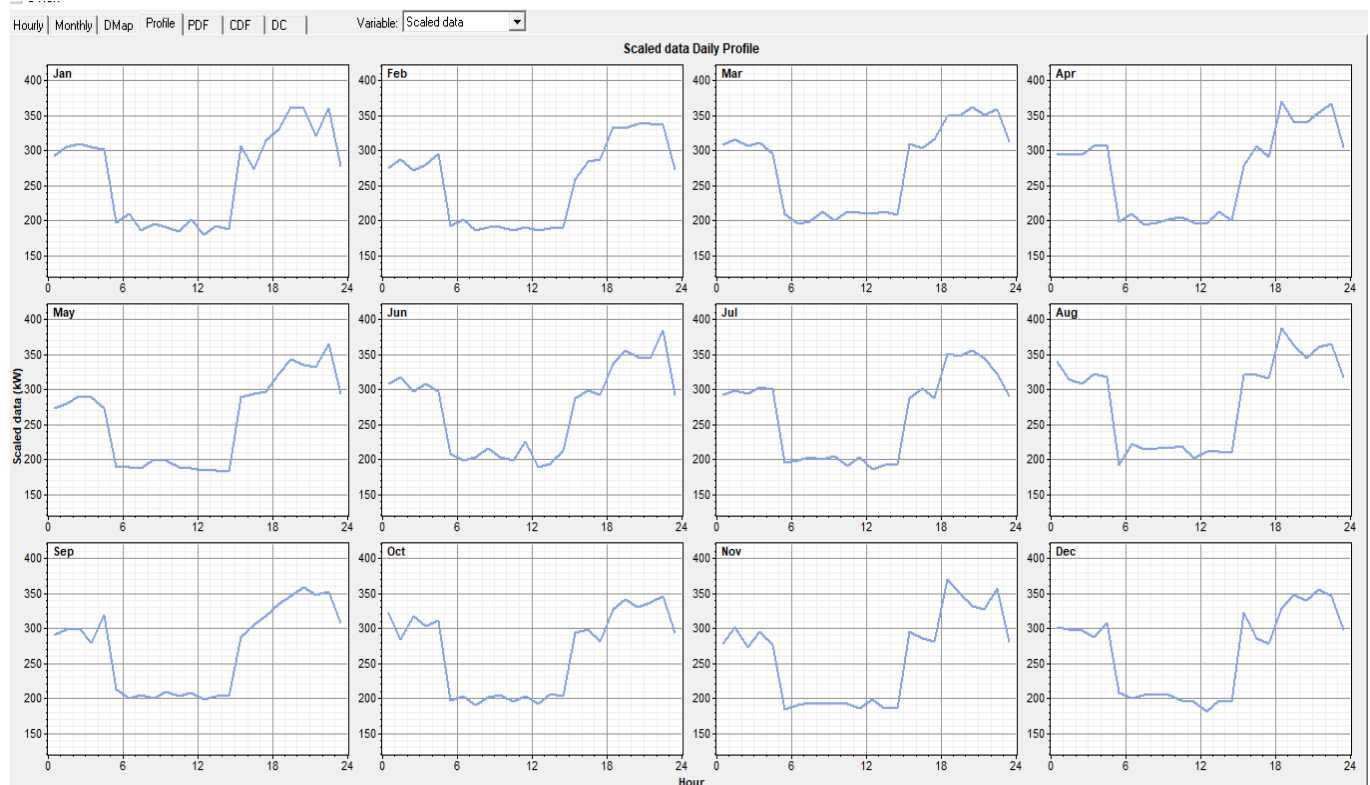


Fig. 2. Daily seasonal profile of the load during the year

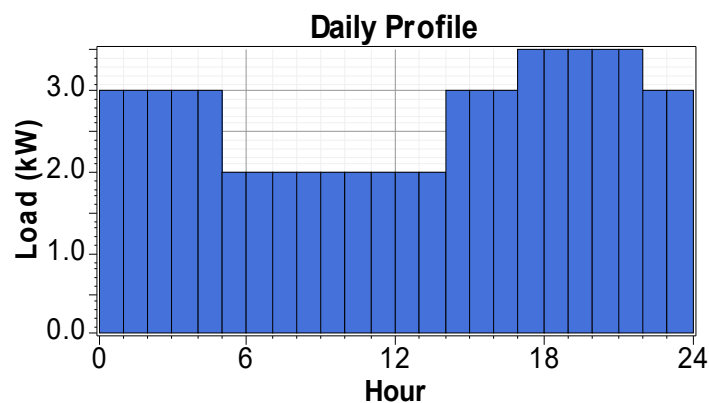


Fig. 3. Daily profile of the load

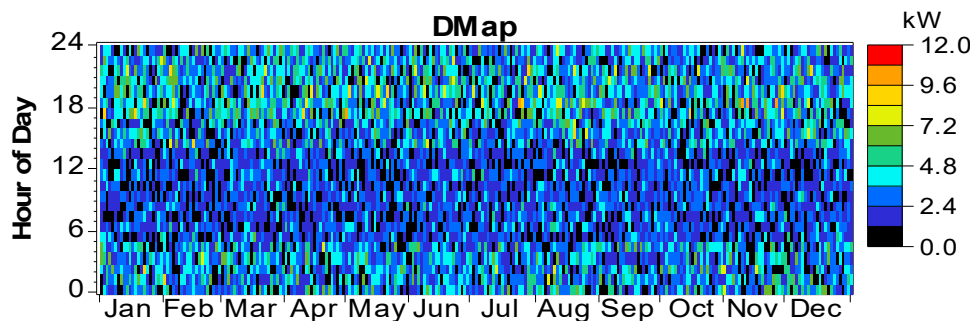


Fig. 4. DMap

In this study, two sources of renewable energy were considered: the wind and solar resources of the municipality of Mbeni. Monthly mean global solar radiation is shown in Figure 5.

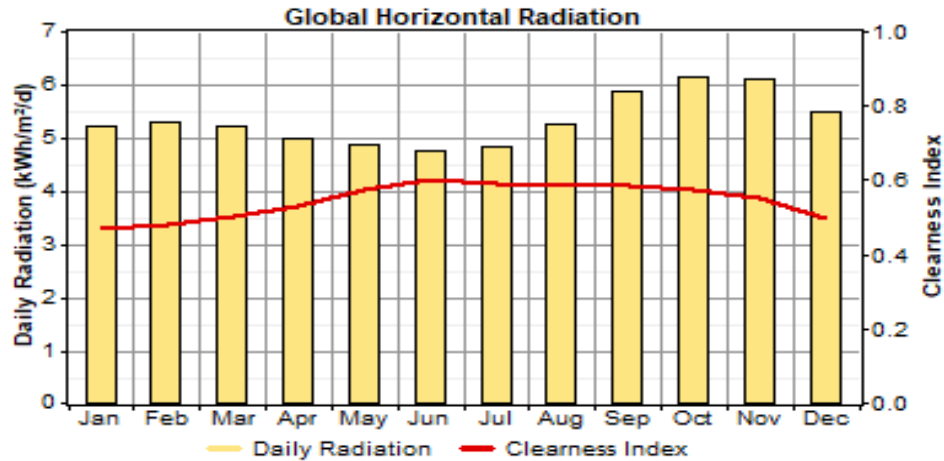


Fig. 5. Solar irradiation

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i (T - T_{ref})] \times G / 1000 \quad (1)$$

G : sunshine (W / m^2), I_{sc} : short circuit current under standard conditions (STC), T_{ref} : room temperature or cell junction and T temperature in Kelvin.

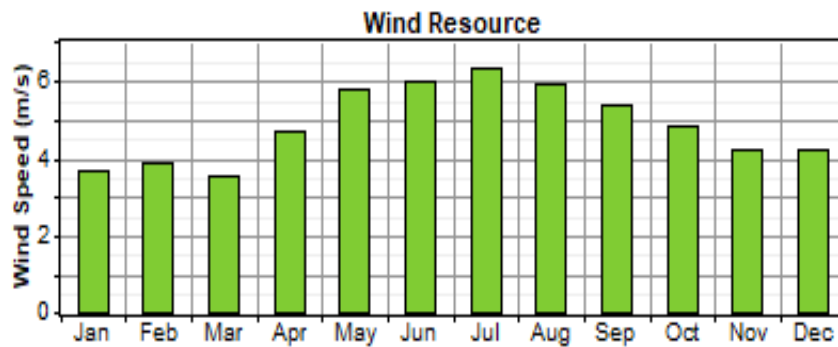


Fig. 6. Wind speed

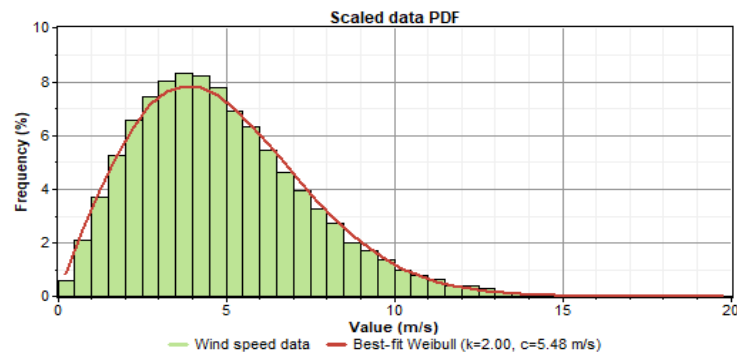


Fig. 7. Probability Density of Wind Speed

The monthly wind speeds are shown in Figure 6. The overall average wind speed is 4.85 m / s. Figure 7 shows the probability density of the wind speed in the Comoros. The potential of the study site in rural areas has been assessed from this density. As shown in Figure 6, the lowest wind speed is in March and the highest is in July. The power produced by the wind turbine is calculated by:

$$P_{mt} = 1/2 \rho \times A \times V^3 \times C_p \quad (2)$$

Where V represents the wind speed (m / s), ρ is the density of the air for a given temperature (kg / m^3), A is the rotation surface of the rotor (m^2) and C_p the power factor of the turbine.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The architecture of the micro-grid is simulated in various aspects depending on the variations of the load profile, the cost and the size of the components, the constraints of the system, the control strategy and the economy of the system. HOMER eliminates all unworkable combinations and classifies feasible systems according to the current net cost [22], [23].

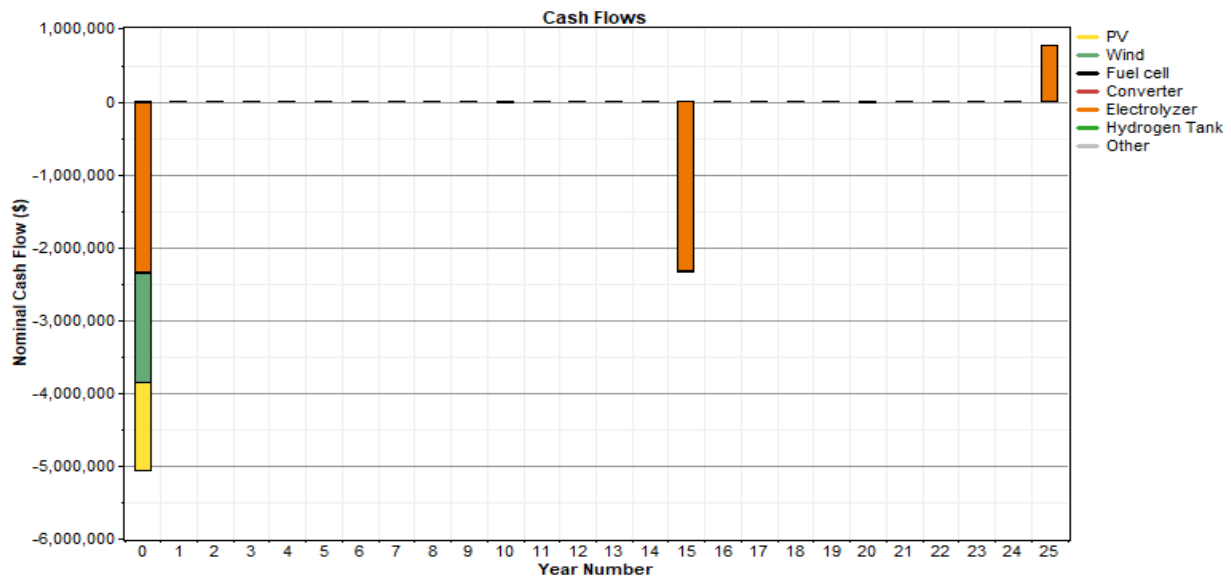


Fig. 8. Summary of cash costs

Figure 8 illustrates the cash flow for the system. Each bar in the graph represents total expenses. The first bar, year zero, indicates the investment cost of the system (\$ 5,072,964). A negative value represents an expense, such as component replacement or operating and maintenance (O & M) costs. A positive value represents a recipe, which can be the sale of electricity (not expressed at this level) or the resale of components after the dismantling of the system at the end of the life of the project. At 15 years, the electrolyser, the fuel cell, the storage tank and the converter will be replaced as indicated on the same figure with the negative bar. The project was desired for a lifetime of 25 years.

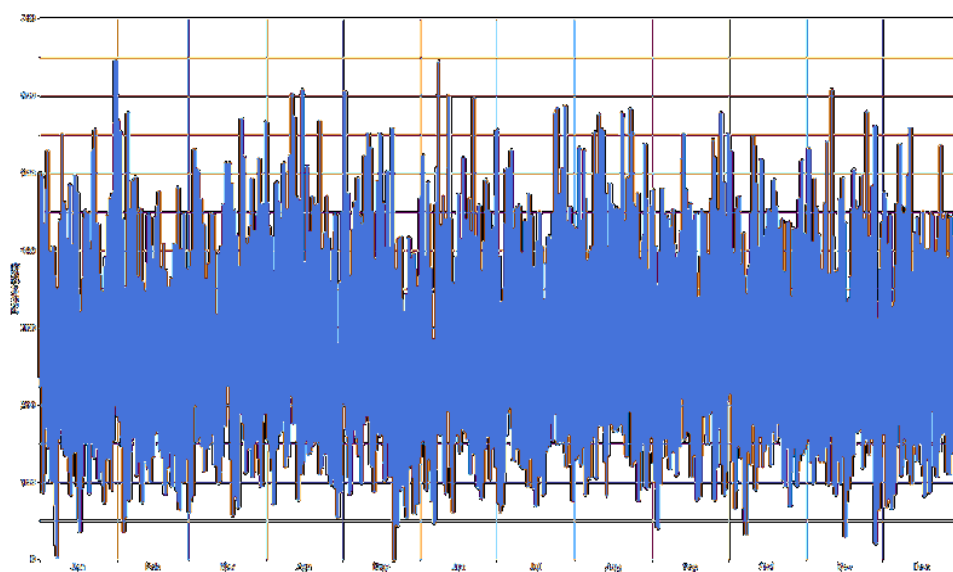


Fig. 9. Annual change in the load represented by the city

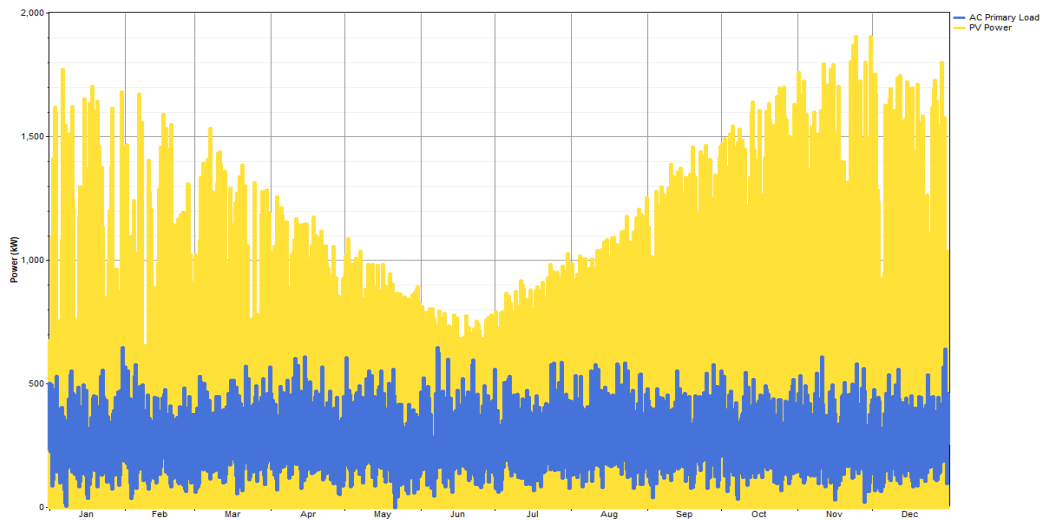


Fig. 10. Annual change in PV load and production

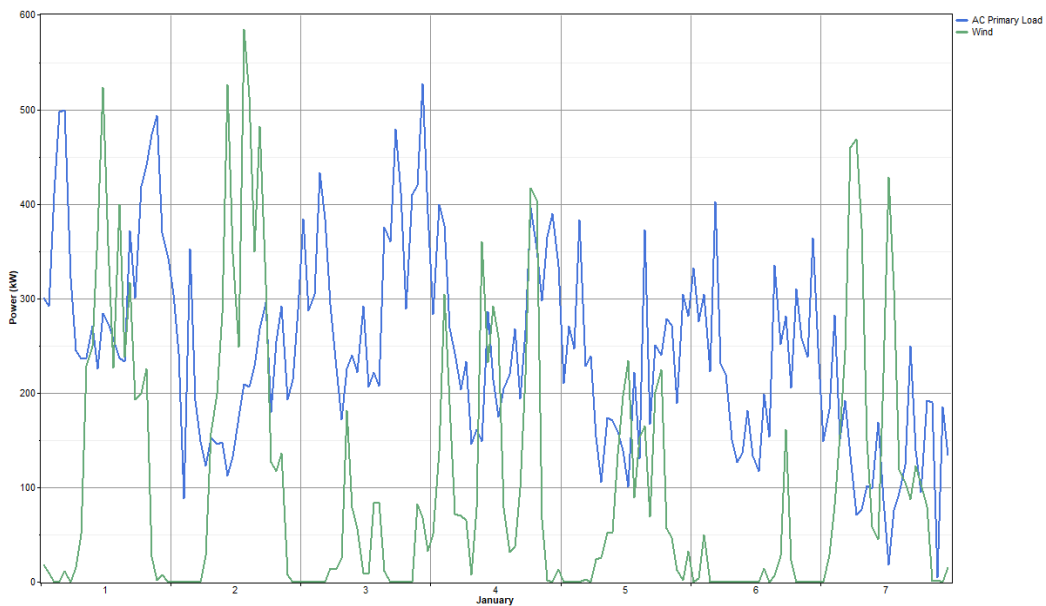


Fig. 11. Power of the load and wind generation

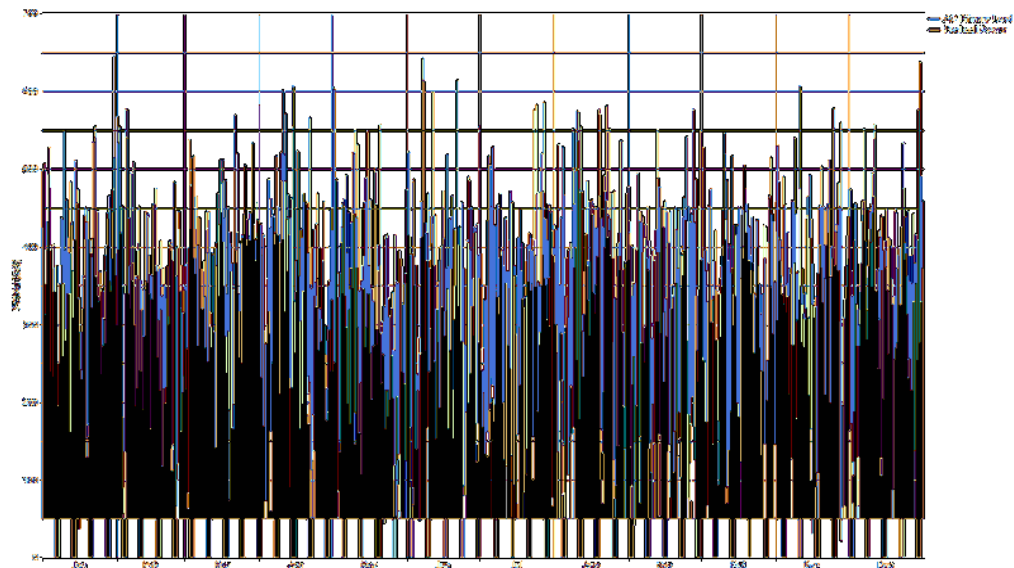


Fig. 12. Monthly evolution of the energy corresponding to the charge and injected by the fuel cell

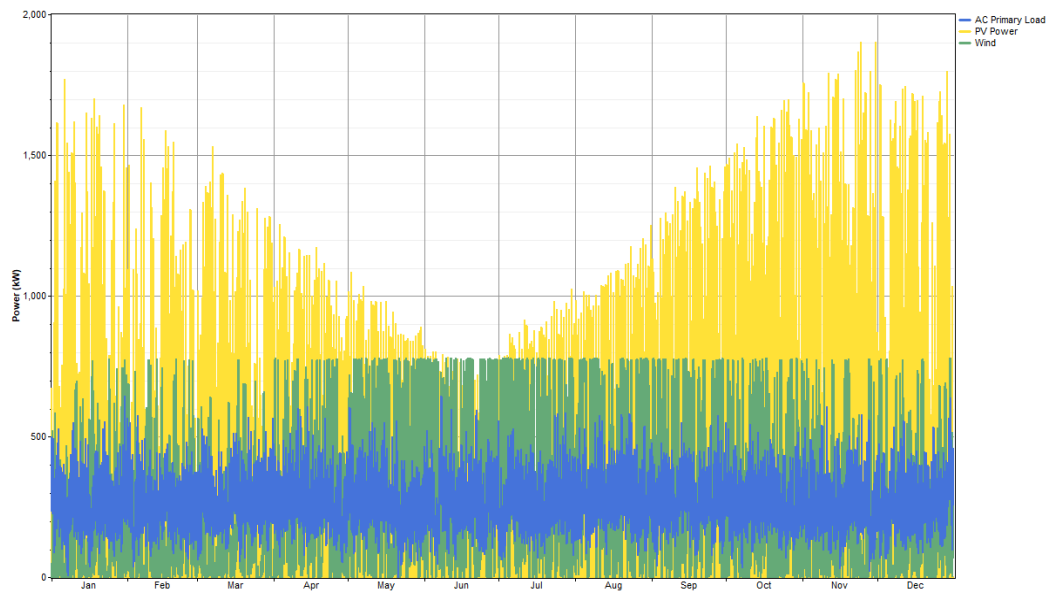


Fig. 13. Monthly evolution of the energy consumed by the load and produced by the wind turbines and by the PV field

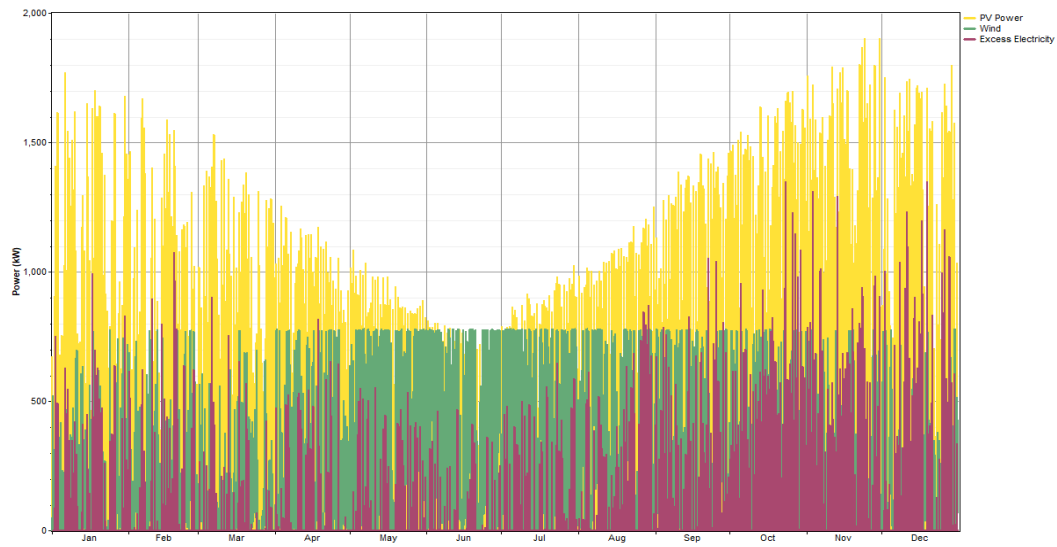


Fig. 14. Variation in wind and PV production plus excess electricity generation in a year

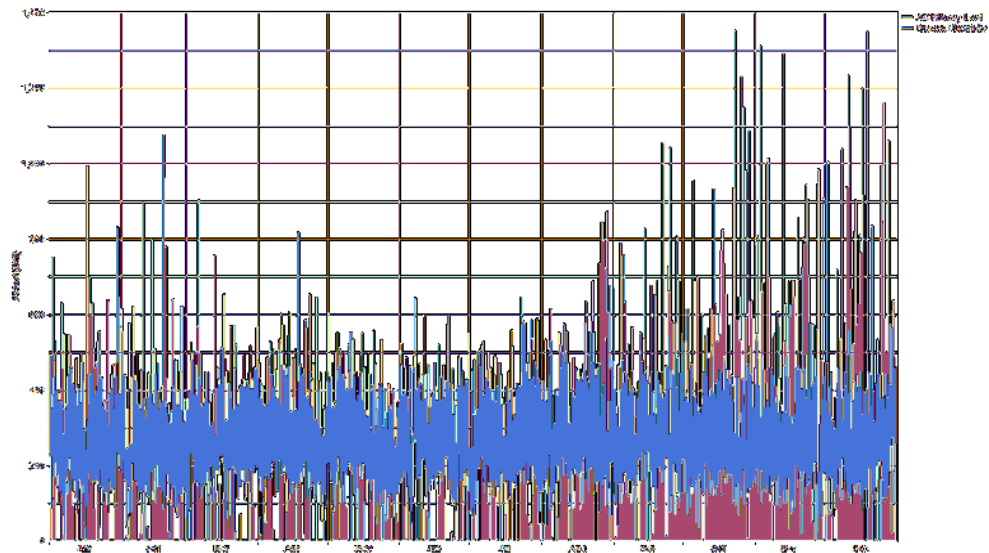


Fig. 15. Variation in excess of electricity production superimposed on energy demand

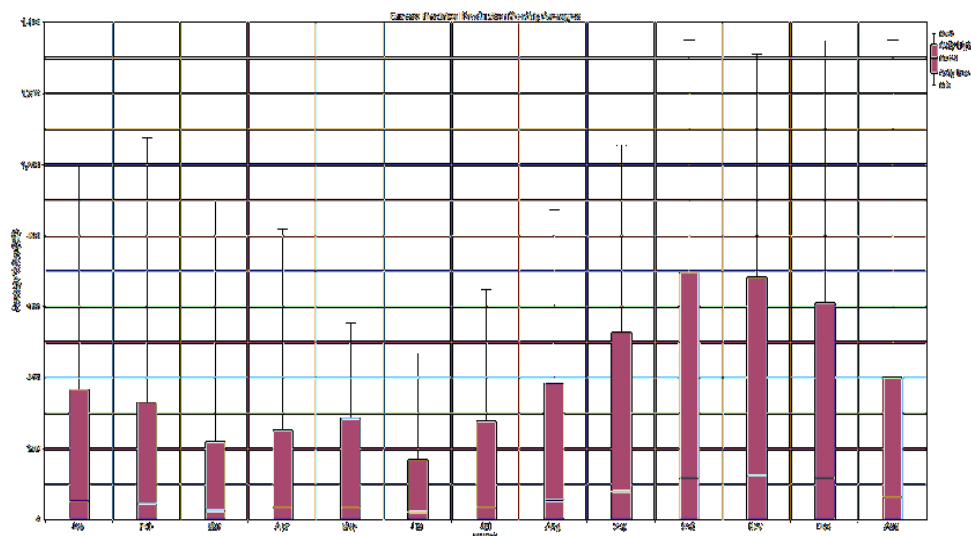


Fig. 16. Evolution of the monthly average of excess power produced

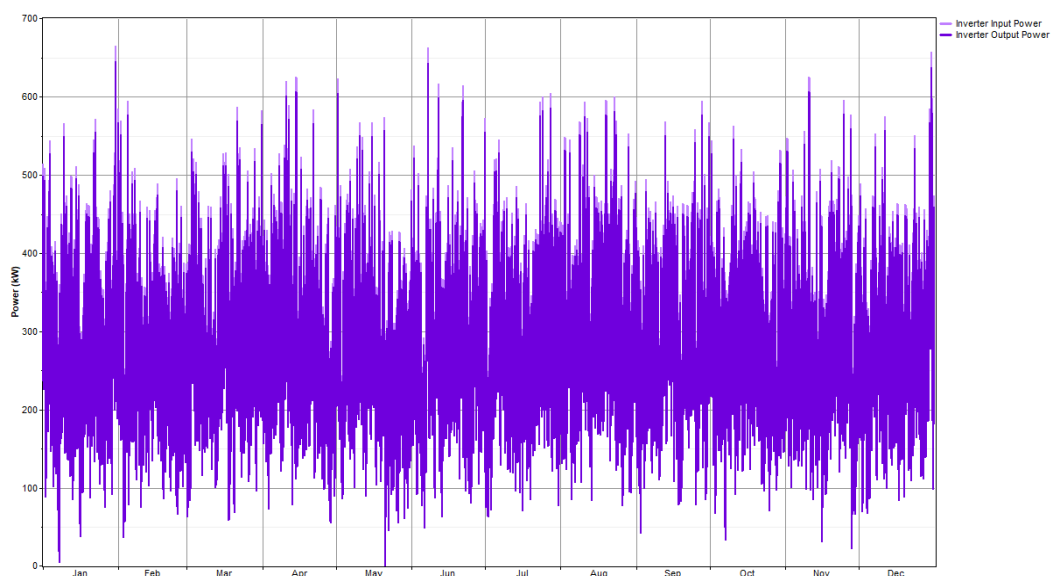


Fig. 17. Variation of the annual hourly power at the input and output of the inverter

Figures 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 show the energies produced monthly for wind, PV, fuel cell as well as stored.

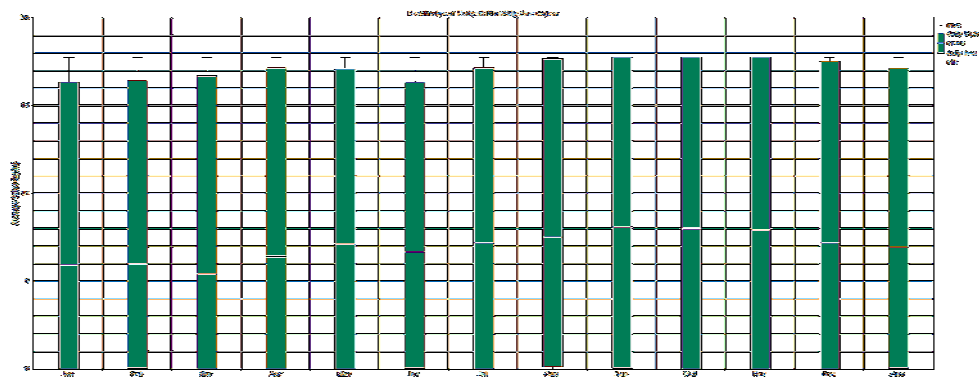


Fig. 18. Variation of the average evolution of the power supplied by the electrolyser

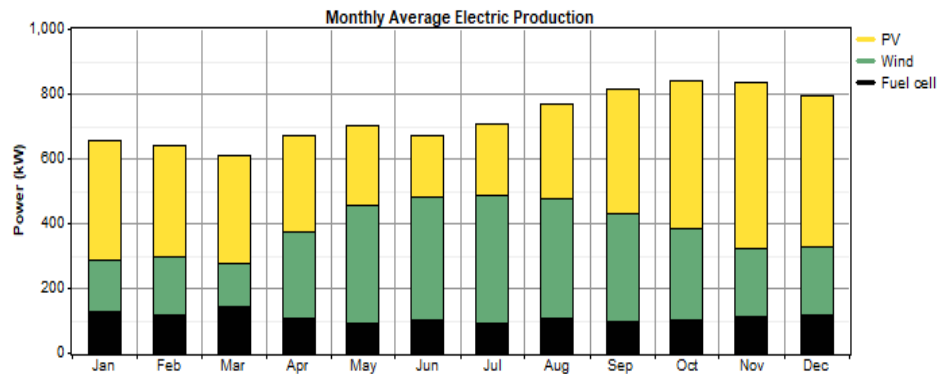


Fig. 19. Energy production from different sources in a year

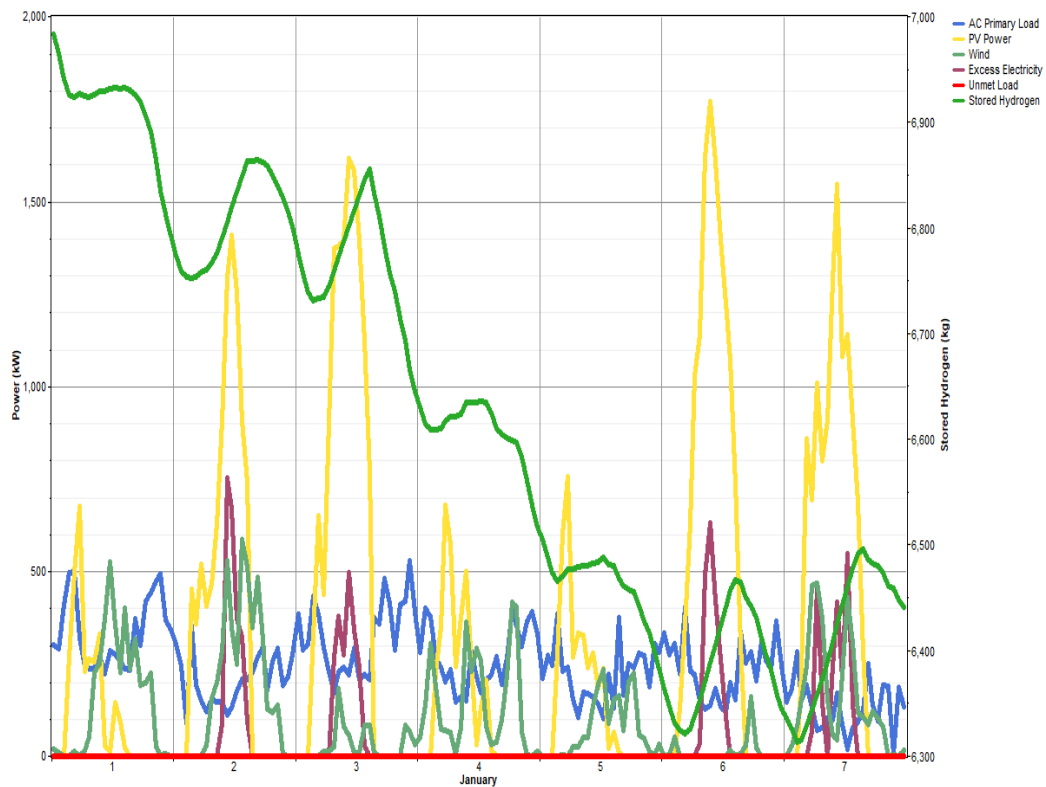


Fig. 20. Variation of load, energies produced and excess of electricity production, demand for unmet load and hydrogen Storage

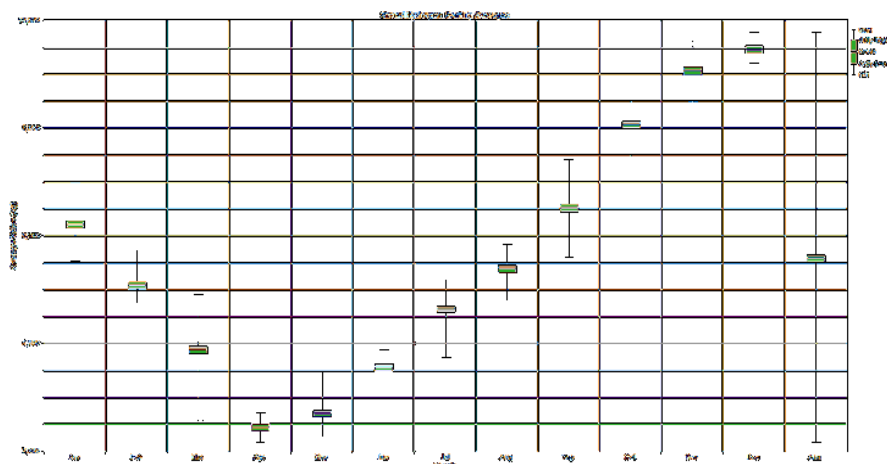


Fig. 21. Evolution of the monthly average of hydrogen storage

4 CONCLUSION

In this article, the study and design of a hybrid power system for a power supply in the Comoros was carried out using the HOMER software. The hybrid system consists of a wind turbine, a PV field, an electrolyser, a fuel cell, a hydrogen storage tank. The study was conducted using local wind speed and global solar irradiance data to optimize the system. Our results show that the best net total cost (NPI) of \$ 5,072,964 and an energy cost of \$ 0.1448 / kWh can be achieved by using a 500 kW converter, a 1000 kW electrolyser; a 1000 kW fuel cell, three 250 kW wind turbines, a PV field with a nominal capacity of 2250 kW and a 10000 kg hydrogen storage unit (these results only include capital expenditure and ignore the excess electricity produced). Similarly, PV penetration is 47%, wind turbine penetration is 38%, and 15% for the fuel cell. On the other hand, the simulation results of the HOMER software show that the PV-wind-H2 system (figure 20) is a solution in terms of autonomy, durability and environment. It also has an excess of electricity production of 538,138 kWh / year and an unmet load value that is zero. This excess of electricity will allow the community to carry out other projects that are blocked because of the shortage of energy such as the drinking water project for which the African Development Bank has been making investments for several years or the hospital care project such as the operating theater, the dental service and the creation of a cold room in the community market. Taking into account the results we have obtained, the following conclusions could be drawn: Solar resources in the Mbeni community area have excellent potential compared to wind energy which could be the second energy source to cover electrification.

- Indeed, we note that a PV-wind-H2 system is an appropriate solution for standalone applications.
- Thus, the production of electric energy via the fuel cell which is 15% will be able to balance the production and the demand and thus ensure the stability of the network in terms of supply.

ACKNOWLEDGMENT

Thank you to the Central Head of the Electricity Company of Comoros as well as Head of Design Office who honored their promise by giving us the data. This work is so important to enable the people of this Comorian city to get out of the energy drain and to allow the future generations of my country to find studies in the coming years. We are looking for funding to carry out this project.

REFERENCES

- [1] D. Rekioua, A. Achour, and T. Rekioua, «Tracking power photovoltaic system with sliding mode control strategy», Energy Procedia Vol 36, pp. 219–230, 2013 Science Publishers, 2015, Chapter 12, p. 269-277.
- [2] A. Maleki, and A. Askarzadeh, « Comparative study of artificial intelligence techniques for sizing of a hydrogen-based stand-alone photovoltaic/wind hybrid system », International Journal of hydrogen Energy, vol.39.n.19, pp.9973-9984, 24 June 2014.
- [3] Bouzelata Y, Altin N, Chenni R, Kurt E « Exploration of optimal design and performance of a hybrid wind-solar energy system », Int J Hydrogen Energy 2016 ; 41(29) :12497e511.

- [4] Yang H, Lu L, Zhou W , « A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system », *J Sol Energy* 2007 ; 81 :76e84.
- [5] Etxeberria A, Vechiu I, Camblong H, Vinassa J-M , « Comparison of three topologies and controls of a hybrid energy storage system for microgrids », *Energy Convers Manag* 2012 ; 54 :113e21
- [6] S. Tamalouzt, N. Benyahia, T. Rekioua, D. Rekioua, R. Abdessemed , « Performances analysis of WT-DFIG with PV and fuel cell hybrid power sources system associated with hydrogen storage hybrid energy System », *Int J Hydrogen Energy*, vol. 41, 2016.
- [7] S.Tamalouzt, N. Benyahia, T. Rekioua, D. Rekioua, R. Abdessemed, « Wind Turbine-DFIG/Photovoltaic/Fuel Cell Hybrid Power Sources System Associated with Hydrogen Storage Energy for Micro-grid Applications », *IEEE IRSEC*, 2015, p. 1-6.
- [8] Juan P. Torreglosa, Pablo García-Triviño, Luis M. Fernández-Ramírez, Francisco Jurado, « Control based on techno-economic optimization of renewable hybrid energy system for stand-alone applications », *Expert Systems with Applications*, 2016, vol 51 : p. 59-75.
- [9] N. Benyahia, T. Rekioua, and N. Benamrouche, « Modeling and Simulation of a Stand-alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell System associated with a Hybrid Energy Storage, », *The Third International Renewable Energy Congress, IREC'2011*, Hammamet, Tunisia, p. 1-7, December 20-22, 2011.
- [10] Baek, S.; Kim, H.; Chang, H.J. Optimal Hybrid Renewable Airport Power System: Empirical Study on Incheon International Airport, South Korea. *Sustainability* 2016, 8.
- [11] N.E. Lambani, C. Buque, S. Chowdhury, « design of a cost Efecctive Hybrid Renawable Energy for coastal and Inland Rural Community in Africa », *IEEE PES Power Africa*, 2017, p.451-456.
- [12] D. Feroldi, and D. Zumoffen, « Sizing methodology for hybrid systems based on multiple renewable power sources integrated to the energy management strategy », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 39, pp. 8609–8620, 2014.
- [13] D. Feroldi, M. Serra, and J. Riera, « Energy Management Strategies based on efficiency map for Fuel Cell Hybrid Vehicles », *Journal of Power Sources*, vol. 19, pp. 387–401, 2009.
- [14] S. Abedia, A. Alimardanib, G.B. Gharehpetianb, G.H. Riahya, and S.H. Hosseinianb, « A comprehensive method for optimal power management and design of hybrid RES-based autonomous energy systems » *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.16, pp. 1577–1587, 2012.
- [15] D. Ipsakisa, S. Voutetakisa, P. Seferlisa, F. Stergiopouloua, and C. Elmasidesb, « Power management strategies for a standalone power system using renewable energy sources and hydrogen storage », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 7081–7095, May 2009.
- [16] D. Feroldi, and M. Serra, « Optimal MPC-Based Energy Management of a Grid-Connected Multiport Converter for Hybrid Energy Sources », *Transactions on Industrial Electronic*, vol. 34, pp. 28–36, 2015.
- [17] M. S. Behzadi, and M. Niasati, « Comparative performance analysis of a hybrid PV/FC/battery stand-alone system using different power management strategies and sizing approaches », *International journal of hydrogen energy*, vol.40, pp.538-548, 2015.
- [18] Martin Ansong, Lena D. Mensah, Muiyiwa S. Adaramola, « Techno-economic analysis of a hybrid system to power a mine in an off-grid area in Ghana », *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol 23, pp. 48-56, 2017.
- [19] Farrukh Khalid, Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen, « Analysis and assessment of an integrated hydrogen energy system », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol 41, Issue 19, pp 7960-7967, 2016.
- [20] Ajao K.R and Adegun I.K (2009). « Development and Power Performance Test of a Small Three-Blade Horizontal-Axis Wind Turbine », *Heat Transfer Research*, Vol. 40, No. 8, pp.777-792.
- [21] Guide to meteorological instrument and observing practices. Report WMO, No. 8. TP3, Geneva, Switzerland, 1971-1972.
- [22] Nelson DB, Nehrir MH, Wang C (2006) Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation system. *Renew Energy* 31(10):1641–1656.

VALEURS PASTORALES ET PRODUCTIVITÉS INTER-DÉCENNALE DES PARCOURS DE LA VALLÉE DE GOULBI N'KABA AU NIGER

[PASTORAL VALUES AND INTER-DECENNIAL PRODUCTIVITIES OF THE GOULBI N'KABA VALLEY IN NIGER]

M. Hamissou ILLO SOULEY^{1,2}, Issa CHAIBOU², Idrissa SOUMANA³, Abdou LAOUALI⁴, Ali MAHAMANE⁴, and Maxime BANOIN⁵

¹IPDR, Institut Pratique de Développement Rural de Kollo, Département Élevage à IPDR/ Kollo, Bp : 76, Kollo, Tillabéry, Niger

²Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, BP : 465, Maradi, Niger

³Institut National de Recherche Agronomique du Niger, INRAN, Département des Productions Animales, BP : 429, Niamey, Niger

⁴Université de Diffa, BP : 78, Diffa, Niger

⁵Département de Production Animale, Professeur Titulaire, Enseignant chercheur à la Faculté d'Agronomie de l'UAM de Niamey, Université de Niamey, BP : 10960, Niamey, Niger

Copyright © 2018 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: *Objective :* This study is conducted on the Goulbi N'Kaba Valley in Niger. The objective of this study is to determine the pastoral value and productivity of this area.

Methodology : The methodological approach is focused on the sites of pastoral discharge sites and on two (2) transects (GB-GT and KH-DK), approximately 6.5 km long, running through the adjacent terraces (fields), the corridors of passage and the sylvo-pastoral zone (ZSP) of the valley. Phytosociological surveys based on abundance (number) and dominance (recovery) of species, and the harvest of phytomass were regularly made in plots of 2500 m². The quadratic points aligned method and the integral biomass harvest method were applied. Forage and pastoral values, productivities and load capacities were appreciated.

Results : Forage values (legumes, graminoids, phorbes) of pastoral discharge sites in 2004 (16 ; 22 ; 51) are higher than those in 2014 (8 ; 10 ; 29). This trend is maintained at the level of adjacent terraces (with 24, 22, 63 in 2004 against 17 ; 12 ; 40 in 2014) and corridors of passage (with 22 ; 21 ; 60 in 2004 against 15 ; 15 ; 11 in 2014). Pastoral values (2004 and 2014) move in the same direction as forage values (2004 and 2014). The productivity of species under crown is greater than that of species outside crowns. The productivities of 2004 are higher than those of 2014 on pastoral discharge sites and corridors of passage. Nevertheless those of 2014 (1398.6 ± 444.5 kg MS / ha) are higher than those of 2004 (1127.8 ± 608.4 kg MS / ha) on the adjacent terraces of the Goulbi N'Kaba valley. The carrying capacity follows the same trend as productivity in the Goulbi N'Kaba valley, but with much smaller values.

Conclusion : Pasture and pastoral values and productivities revealed the deterioration of rangelands of pastoral discharge sites, adjacent terraces and passage corridors in the Goulbi N'Kaba valley from 2004 to 2014.

KEYWORDS: Fodder value, rehabilitated, fields, corridors of passage, Guidan-Baoua, Guidan-Tawayé, Korin-Habdjia, Dan-Kibia.

RÉSUMÉ: *Objectif :* La présente étude est conduite sur la vallée de Goulbi N’Kaba au Niger. L’objectif de cette étude est de déterminer la valeur pastorale et la productivité de cette zone.

Méthodologie : La démarche méthodologique est axée sur les sites de sites de réhabilitation pastorale et sur deux (2) transects (GuidanBaoua- GuidanTawayé et KorinHabdja- DanKibia), d’environ 6,5 km de longueur, parcourant les terrasses adjacentes (champs), les couloirs de passage et la zone sylvo-pastorale (ZSP) de la vallée. Les relevés phytosociologiques basés sur l’abondance (nombre) et la dominance (recouvrement) des espèces, et la récolte de la phytomasse ont été régulièrement faits dans des placettes de 2500 m². La méthode de points quadrats alignés et celle de la récolte de la biomasse intégrale ont été appliquées. Les valeurs fourragères et pastorales, les productivités et les capacités de charges ont été appréciées.

Résultats : Les valeurs fourragères (légumineuses, graminoides, phorbies) des sites de réhabilitation de pastorale de 2004 (16 ; 22 ; 51) sont plus élevées que celles de 2014 (8 ; 10 ; 29). Cette tendance se maintient au niveau des terrasses adjacentes (avec 24 ; 22 ; 63 en 2004 contre 17 ; 12 ; 40 en 2014) et des couloirs de passage (avec 22 ; 21 ; 60 en 2004 contre 15 ; 15 ; 11 en 2014). Les valeurs pastorales (2004 et 2014) évoluent dans le même sens que les valeurs fourragères (2004 et 2014). La productivité des espèces sous houppier est supérieure à celle des espèces hors houppier. Les productivités de 2004 sont plus élevées que celles de 2014 sur les sites de réhabilitation pastorale et les couloirs de passage. Néanmoins celles de 2014 (1398,6 ± 444,5 kg. MS/ ha) est plus élevées que celles de 2004 (1127,8 ± 608,4 kg. MS/ ha) sur les terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N’Kaba. La capacité de charge suit la même tendance que la productivité dans la vallée de Goulbi N’Kaba, mais avec des valeurs beaucoup plus réduites.

Conclusion : Les valeurs fourragère et pastorale et les productivités ont permis de constater l’état de dégradation des parcours des sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs de passage de la vallée de Goulbi N’Kaba de 2004 à 2014.

MOTS-CLEFS: Valeur fourragère, réhabilité, champs, couloir de passage, Guidan-Baoua, Guidan-Tawayé, Korin-Habdja, Dan-Kibia.

1 INTRODUCTION

L’élevage est l’une des principales activités de la population nigérienne. Il constitue la deuxième (2^{ième}) source de devise après les industries extractives [1] et la deuxième (2^{ième}) activité de la population après l’agriculture. Il se pratique par 87% de la population rurale [2] ; [3], sur 62 millions d’hectares d’espace pâturable [1]. Il contribue à hauteur de 49% au revenu des ménages [4], 25% à la satisfaction des besoins alimentaires [5] ; [1], 13% (11%) au produit intérieur brut, 35% au PIB agricole [2], et 25 % au budget rural [1].

Cependant cette activité est confrontée à de rudes épreuves, dont les plus englobantes sont d’ordre climatiques et anthropiques. Il s’agit entre autres des déficits pluviométriques, des hautes températures rencontrées à certaines périodes de l’année, des vents forts qui diminuent le potentiel de régénération. À ceux-là, il faut ajouter le surpâturage, l’avancée du front de cultures sur les zones pastorales et les grignotages des espaces pastoraux (couloirs de pâturage, enclaves pastorales, aires de repos ou de pacage, etc.) [6] ; [7]. L’ensemble de ces facteurs agissent directement sur les animaux ou indirectement sur les ressources pastorales à savoir l’eau et la végétation. Cette dernière constitue l’un des plus grands éléments de la réussite ou de l’échec de l’élevage au Niger. Les animaux utilisent les parcours naturels pour leur alimentation. La pression du cheptel sur les ressources fourragères conduit progressivement à des contraintes d’accès au fourrage et donc une compétition accrue entre éleveurs d’une part (sur les aires de pâturage, de repos) et agro-éleveurs d’autre part (enclaves pastorales, aires de pacage) [8] ; [9]. Cela conduit à une évolution régressive (dégradation) des pâturages [10] ; [11], qui se traduit par une dénudation des sols, un envahissement des espèces non appréciées, etc. [12].

Ainsi, pour ralentir ce processus, des actions d’aménagement, de réhabilitation ont été entreprises à l’échelle nationale dans plusieurs régions [13]. Après, s’en est suivie l’évaluation des impacts des actions de réhabilitation de la végétation dans quelques régions. Dans la région de Maradi, la réhabilitation des enclaves pastorales et des aires de pâturages de Goulbi N’Kaba a concerné cette étude. Le dispositif de suivi environnemental a été mis en oeuvre au niveau des massifs prioritaires dont celui de Goulbi N’Kaba (Mayahi). Cette réhabilitation a concerné l’ensemencement des espèces herbacées.

Plusieurs études sur la productivité des herbacées, la capacité de charge, la valeur pastorale ont été menées au Sahel, avec des cas particuliers du Tchad, Mali, Burkina Faso, Niger [12] ; [14]. Il n’y a pas eu beaucoup d’études particulières sur la productivité au Niger, mais [15] a mené une étude sur la caractérisation des pâturages et a axé sur l’intérêt pastorale, la productivité, la capacité de charge, dans la région de Zinder. La région de Maradi, à vocation agropastorale, n’a pas connu des études relatives. L’objectif de cette étude est de déterminer la valeur pastorale et la productivité de la vallée de Goulbi N’Kaba. La valeur pastorale et la productivité permettront de rebondir sur la valeur fourragère, qui constituent l’étude qualitative à

travers des « mesures » de diversité dont [16] ; [17] les plus fréquentes de la biodiversité d'un peuplement végétal est la richesse floristique, parfois même considérée comme la diversité. En fait, il s'agit d'une mesure de la diversité parmi un ensemble d'autres [18] ; [19] ; [20]. En plus, la productivité potentielle permettra de rebondir sur la capacité de charge des sites de la vallée de Goulbi N'Kaba, tout en analysant leur dynamique inter-décennale.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE (GÉNÉRALITÉS)

Cette étude a été conduite dans le département de Mayahi, le long des couloirs de passage de la vallée de Goulbi N'Kaba, de ses terrasses adjacentes et des sites réhabilités par le PAFN depuis 2003 – 2004 [13]. Les couloirs de passage représentent la zone sylvopastorale qui occupe le lit mineur et les terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba, constituées des champs qui colonisent en plus le lit majeur de cette même vallée. À ces zones il faut ajouter les sites de réhabilitation pastorale de Koren Habjia ($13^{\circ} 56' 420''$ N, $07^{\circ} 28' 500''$ E), de Dan-Baskoré ($13^{\circ} 89' 419''$ N, $07^{\circ} 77' 670''$ E) et celui de Guidan-Bawa ($13^{\circ} 90' 372''$ N, $07^{\circ} 73' 022''$ E). L'altitude moyenne des terrasses adjacentes est de $374,5 \pm 6,13$ m et celle des couloirs de passage est de $366,2 \pm 2,95$ m. Les terrasses adjacentes se situent sur les formations dunaires de l'ère quaternaire [21] et les couloirs de passage traversant les lits de la vallée sont constitués des sols limoneux et argileux qui reposent sur le Continental Hamadien [22].

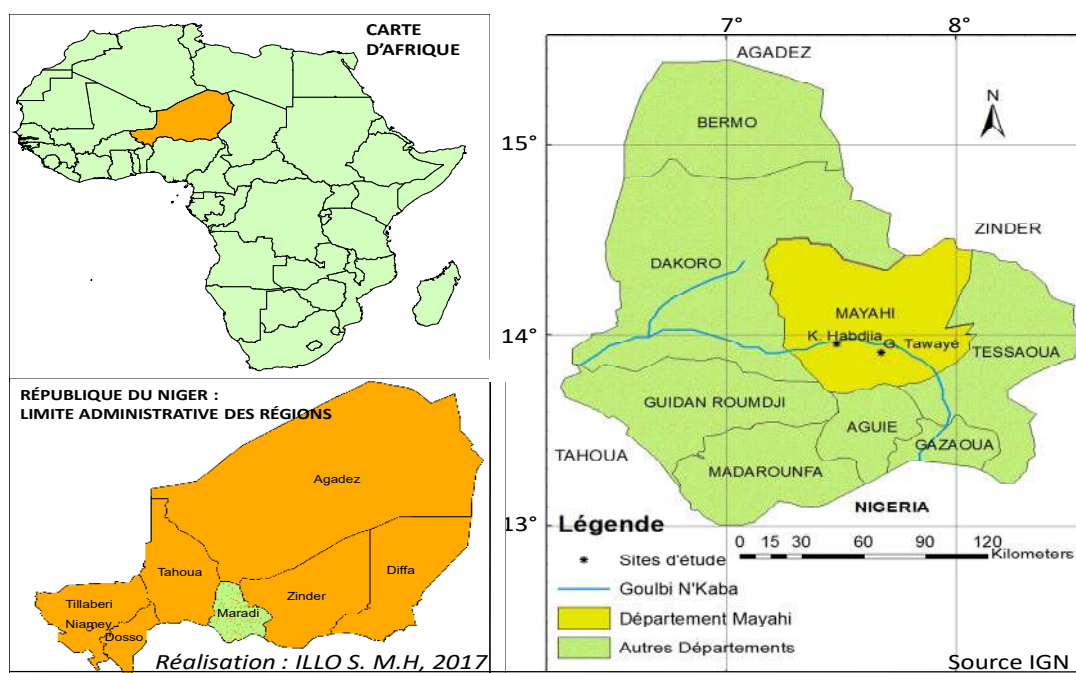


Fig. 1. Carte du département de Mayahi (zone d'étude : Koren Habjia et Guidan Tawayé)

Le climat est sahélien dans le département de Mayahi. La pluviométrie moyenne de 1996 à 2016 est de $414,255 \pm 74,53$ mm. Le mois d'août est le plus pluvieux avec une moyenne de $178,02 \pm 34,84$. La période près-humide correspond aux mois de juin, juillet avec des pluviosités inférieures à 126,1 mm à Mayahi (Figure 2). La période post-humide correspond aux mois de septembre, avec des pluviosités inférieures à 61,05 et 56,42 mm (Figure 2). La période active se situe d'août à septembre. Les données enregistrées de 1990 à 2016 de la station synoptique de référence de Maradi sur les températures minimale, maximale et moyenne sont respectivement en moyenne de $21,14 \pm 3,62$ °C ; $35,16 \pm 2,69$ °C et $28,15 \pm 2,78$ °C. Les durées maximale, minimale et moyenne d'insolation sont respectivement de $9 \text{ h } 21 \text{ mn } 36 \text{ s} \pm 27 \text{ mn}$, $7 \text{ h } 44 \text{ mn } 24 \text{ s} \pm 27 \text{ mn}$ et $8 \text{ h } 42 \text{ mn} \pm 27 \text{ mn}$.

La végétation est une steppe à trois strates : arborée, arbustive et herbacée. Sur les terrasses adjacentes, ces dernières sont surtout composées de : *Eragrostis tremula*, *Polycarpea linearifolia* (DC.), *Cassia mimosoides* L., *Andropogon gayanus* Kunth. Var *gayanus*. Quant à la strate herbacée des couloirs de passage, elle est constituée des espèces telles que : *Eragrostis*

tremula Steud., *Pergularia tomentosa* L., *Cassia italica* (Mill.) F.W. Anders., *Acanthospermum hispidum* DC., *Alysicarpus ovalifolius* (Schum. Et Thonn.) J. Léonard., *Schoenefeldia gracilis* Kunth., etc [23].

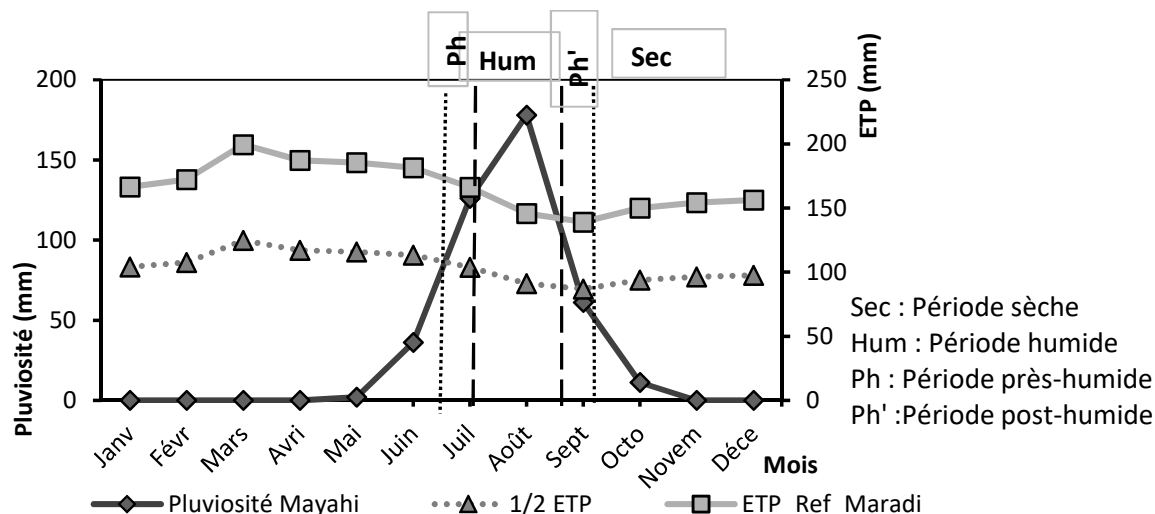


Fig. 2. Diagramme climatique de la station de Mayahi (station pluviométrique de Référence de Koren Habdja).

2.2 CHOIX DES SITES ET DES PLACEAUX (PLACETTES)

Les zones d'études sont constituées de deux (2) transects dont le premier (1^{ier}) est celui de Koren-Habjia et Dan-Kibia et le second (2nd) est situé entre Guidan-Baoua et Guidan-Tawayé. À ceux-là, il faut ajouter les sites de réhabilitation pastorale de Koren-Habjia avec 2 ha en 2002 et 3 ha en 2003 (Figure 4), de Dan-Baskoré avec 2ha (réhabilité en 2002) et de Guidan-Baoua (2 ha) (Figure 4) [24]. Ces derniers sont dans la zone pastorale et sont envahis par des espèces non appréciées telles que *Acanthospermum hispidum* DC., *Sida cordifolia* L., *Pergularia tomentosa* L., etc. Les transects traversant les couloirs de passage et les zones agricoles permettent d'apprécier la productivité de ces zones. Pour ce faire, des placettes de 2500 m² (1000 m² en 2004) ont été matérialisées sur les transects, qui traversent des formations steppiques [25]. Sur les sites de réhabilitation pastorale des dispositifs appropriés ont été mis en place (Figure 4) dans des parcelles. Les lignes de lecture ont été aussi matérialisées.

2.3 ÉCHANTILLONNAGE, INVENTAIRE FLORISTIQUE ET BIOMASSE

Les relevés phytosociologiques ont été effectués le long des deux (2) transects d'environ 6,5 km par la méthode d'échantillonnage stratifié. Les données floristiques de la strate herbacée constituée d'espèces spontanées sur les couloirs de passage et d'espèces cultivées et spontanées sur les terrasses adjacentes ont concerné cette étude.

La méthode de point quadrats alignés de [18] a été appliquée pour effectuer les relevés de végétation (Figure 3). Dans des placettes de 2500 m² de surface, le long des transects ont été effectués des relevés phytosociologiques, en utilisant quatre (4) lignes de lecture, d'une longueur de 10 m chacune. Ces lignes sont disposées d'Est en Ouest et sont distantes de 10 m (Figure 3). Le nombre de lignes de lectures varie d'un site de réhabilitation à un autre. Néanmoins, elles sont distantes de $25 \pm 5,5$ m en moyenne dans chacun des sites.

Ensuite la récolte de la biomasse intégrale [26] ; [27] a été effectuée dans des carrés de rendement (1mX1m). Les carrés de rendement sont disposés au milieu de chaque ligne de lecture dans les sites de réhabilitation (Figure 4). Ils sont disposés sur les quatre (4) angles et un cinquième (5^{ième}) au centre de la placette pour apprécier la productivité de la biomasse spontanée (couloirs de passage, ZSP) et cultivée (terrasses adjacentes) (Figure 3). Pour cette dernière les distances inter-poquets et les interlignes ont été mesurées. Ceci a permis d'apprécier la densité des différentes cultures sur les terrasses adjacentes.

La récolte de la biomasse (phytomasse) herbacée a été effectuée de mi-septembre à début octobre, période pendant laquelle la plupart d'herbacées annuelles ont atteint leur stade phénologique ultime (légumineuses) et d'autres ont commencé à s'assécher [28].

La biomasse fraîche a été pesée avec un peson de précision (1/100 : 100 g), puis un premier (1^{er}) séchage a été fait à l'air libre, afin d'éviter la fermentation et le développement des moisissures [12]. Au laboratoire cette phytomasse (biomasse végétale) a subi un second (2nd) séchage à l'étuve à 60 °C pendant 48 h [29] ; [12], ce qui a permis d'obtenir le poids sec.

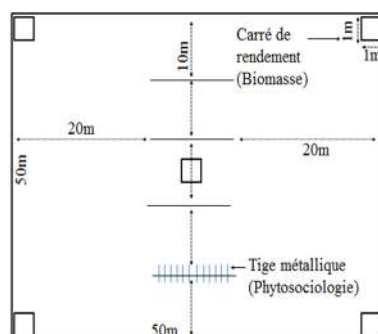


Fig. 3. Récolte de la biomasse verte sur les terrasses adjacentes et les couloirs de passage de la vallée de Goulbi N'Kaba (KH : Koren-Habjia, DB : Dan Baskoré, GB : Guidan-Baoua)

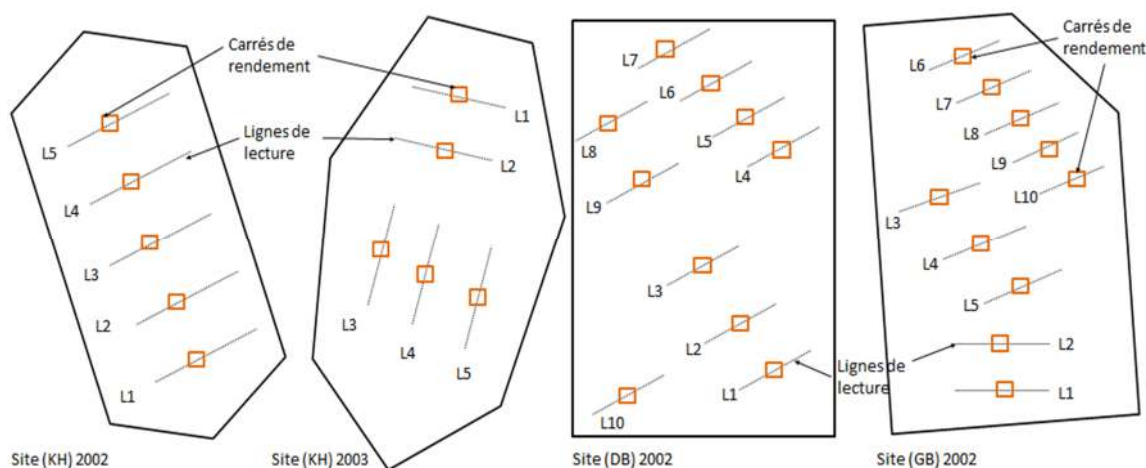


Fig. 4. Récolte de la biomasse verte suivant les lignes des sites de réhabilitation pastorale de la vallée de Goulbi N'Kaba (KH : Koren-Habjia, DB : Dan Baskoré, GB : Guidan-Baoua)

La biomasse des terrasses adjacentes de *Pennisetum glaucum* dont ces feuilles constituent les principaux résidus des cultures a été aussi appréciée (Figure 5).



Fig. 5. Tiges de mil effeuillées (a), pesée des feuilles de deux (2) poquets (b), et pesée des tiges uniquement (c)

2.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

- **Type des couloirs de passage, de sites de réhabilitation et des terrasses adjacentes** : la typologie a été effectuée en fonction des espèces les plus dominantes, de la fréquence et de la valeur indicatrice. La fréquence de chaque espèce dans chaque groupement a été calculée. Les deux premières espèces ayant la plus grande fréquence ont été retenues comme espèces caractéristiques du groupement [28].
- **Valeur pastorale** : La Valeur Pastorale (VP) des herbacées de la vallée de Goulbi N’Kaba est calculée en effectuant le cumul de la contribution spécifique (Csi) de chaque espèce pondérée par son indice de qualité spécifique (Isi) [16] ; [18]. L’indice tient compte à la fois de la composition spécifique et de l’indice de qualité spécifique (Isi). L’indice spécifique traduit l’intérêt zootechnique, c’est-à-dire la valeur bromatologique de chaque espèce végétale [30]. Il a été établi en croisant les données sur l’appétibilité des espèces et celle de la littérature. Il est établi sur une échelle de cotation de 0 à 3 [31] ; [32] :
 - les espèces de bonne valeur pastorale (BVP) sont celles dont l’Isi est égal 3 ;
 - les espèces de valeur pastorale moyenne (MVP) sont celles dont l’Isi est 2 ;
 - les espèces de valeur pastorale faible (FVP) sont celles dont l’Isi est 1 ;
 - les espèces sans valeur pastorale (SVP) sont celles dont l’Isi est 0.

La valeur pastorale brute est calculée en multipliant les contributions spécifiques (Csi) des espèces par les indices de qualité correspondants (Isi) [33]. La valeur pastorale est pondérée (Vpn : Valeur pastorale nette) par le recouvrement global de la végétation, pour éviter la surestimation [34] ; [35] ; [27]. Le produit de la valeur pastorale nette et celui de la phytomasse déterminent la production de fourrage qualifié (Pf_q).

Rec-T

Recouvrement total, somme des recouvrement de relevé

$$C_{si} = \frac{f_{si}}{\sum f_{si}}$$

C_{si} : Contribution spécifique ;

f_{si} : Fréquence spécifique.

$$V_{pr} = \sum_{i=1}^n C_{si} \times I_{si}$$

V_{pr} : Valeur pastorale relative

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_{si} \times I_{si}}{3} \quad \text{ou}$$

V_{pb} : Valeur pastorale brute ;

Avec 3 le coefficient tenant compte de l’échelle de la valeur Is.

$$V_{pb} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n C_{si} \times I_{si}$$

I_{si} : Indice spécifique de qualité.

$$V_{pn} = R_g \times V_{pb} = R_g \times \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n C_{si} \times I_{si}$$

V_{pn} : Valeur pastorale nette ;

R_g : Recouvrement global de la végétation.

$$P_{fq} = V_{pn} \times P_h$$

P_{f_q} : Production de fourrage « qualifié »

- **Productivité des couloirs de passage et des terrasses adjacentes** : La phytomasse qui correspond à la production potentielle a été déterminée par l’expression de la moyenne des phytomasses après séchage. Elle correspond à celle des parcelles et des couloirs de passage

$$\bar{m}_{ph} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \quad \text{et} \quad \bar{m}_{ph} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{5}$$

La phytomasse exprimée en g. MS/m² est extrapolée à l’hectare en Kg. MS/ ha. Elle correspond à la production potentielle. Elle permettra de déterminer l’élément important dans toute évaluation de pâturage [36], qui est la capacité de charge.

- **Capacité de charge** : elle est exprimée en UBT/ ha/ an. Le tiers de la production est consommable au Sahel [36] ; [37]. Un UBT (Unité Bétail Tropical) est un bovin qui pèse 250 kg et consomme 6,25 kg. MS/ jour [12] ; [14]. Il faut donc déterminer le nombre d’UBTs que peut supporter chaque zone (site) par ha en un an, à travers les formules suivantes :

Expressions	Unités	Paramètres
$CC_{jr} = \frac{1}{3} X \frac{P_h}{6,25}$	UBT/ jr	CC _{jr} : Capacité de charge journalière ; Ph : Phytomasse
$CC_{an} = \frac{CC_{jr}}{365}$	UBT/ an	CC _{an} : Capacité de charge annuelle

La production potentielle permet de déterminer la capacité de charge. L’expression de cette capacité de charge est :

$$CC_{UBT/ha/an} = \frac{U.P}{C_{UBT/jr} \cdot 365}$$

U : correspond au coefficient d’utilisation, et est de 1/3 pendant la phase de maturation des graminées [38] ; [37], qui correspond à mi-septembre et début octobre.

P : productivité potentielle des herbacées, exprimée en kg. MS/ ha/ an.

C_{UBT/jr} : quantité de matière sèche consommée par un UBT par jour, elle est de 6,25 kg. MS/ jour, et l’année est considérée en 365 jours.

3 RÉSULTATS

L’étude de la productivité, de la valeur pastorale et de la capacité de charge de la vallée de Goulbi N’Kaba s’intéresse aux zones de réhabilitation pastorale, aux terrasses adjacentes et aux couloirs de passage de 2004. Il a été retenu les mêmes zones pour les relevés de 2014.

3.1 VALEUR FOURRAGÈRE DES PARCOURS DE LA VALLÉE DE GOULBI N’KABA : DYNAMIQUE INTERDÉCENNALE (2004- 2014)

3.1.1 VALEUR FOURRAGÈRE SITES DE RÉHABILITATION PASTORALE

En 2002 et 2003 les sites ont été réhabilités. En 2004 s’en est suivie une première évaluation d’impacts de l’ensemencement. En 2004 et 2014, la valeur fourragère des espèces des sites de réhabilitation pastorale sont réparties en espèces graminoides riches en UF, légumineuses riches en MAD (Matière Azotée Digestible) et phorbes (MAD, UF) (Figure 6).

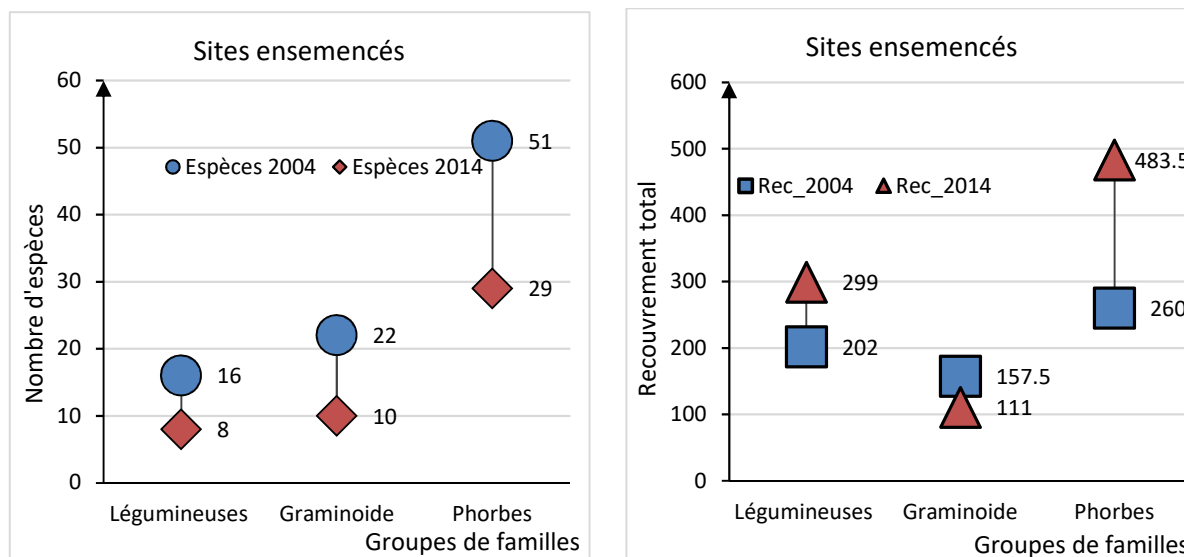


Fig. 6. Répartition des groupes de familles en fonction de nombre d’espèces et de recouvrement (Rec) total en 2004 et 2014 sur les sites ensemencés

Les sites ensemencés en 2002 et 2003 des zones sylvo-pastorales, ont connu une première évaluation en 2004. En 2004 et 2014 les phorbes (51 et 29) sont plus abondantes. Ensuite viennent les espèces graminoides (22 et 10) et les légumineuses (16 et 8). Au sein des phorbes, les familles des Convolvulaceae (8), Asclepiadaceae (3) sont les plus nombreuses.

Dans ces mêmes types de végétation, les phorbes sont les plus dominantes (avec un recouvrement de 260 et 483,5 %) en 2004 et 2014 (Figure 6). Ensuite, viennent les légumineuses (202 et 299 %) et les espèces graminoides (158 et 111 %) respectivement sur les sites de 2004 et de 2014 (Figure 6).

Les graminées, les légumineuses et les phorbes représentent respectivement 25,42 % ; 32,60 % et 41,97 % de recouvrement total sur les sites de réhabilitation pastorale en 2004. La même tendance se maintient par ordre d'abondance-dominance regressif en 2014, avec 12,42 % ; 33,46 % et 54,11 % de graminées, légumineuses et phorbes.

Les sites aménagés (ensemencés) à bases des Poaceae n'ont pas connu une abondance, encore moins une dominance des graminoides. Malgré cet effort d'ensemencement, les phorbes et les légumineuses ont pris place en 2004 et en 2014.

3.1.2 VALEUR FOURRAGÈRE DES TERRASSES ADJACENTES DE LA VALLÉE DE GOULBI N'KABA

En 2004 et 2014, les valeurs fourragères des espèces des terrasses adjacentes sont constituées des espèces graminoides riches en UF, des légumineuses riches en MAD et des phorbes (Figure 7).

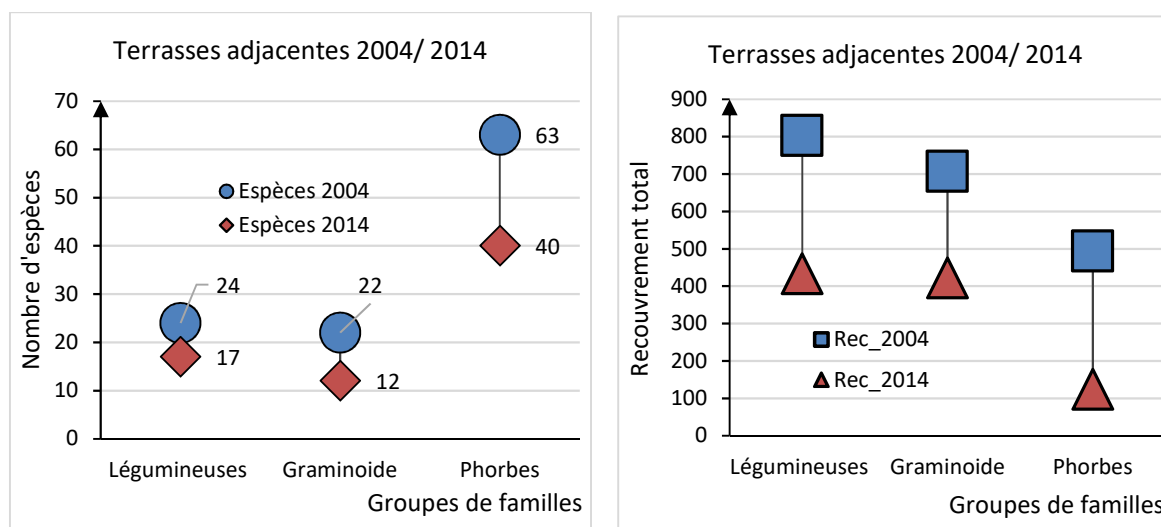


Fig. 7. Répartition des groupes de familles en fonction du nombre d'espèces et de recouvrement total en 2004 et 2014 sur les terrasses adjacentes, champs

Sur les terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba, les phorbes (63, 40 familles), les légumineuses (24, 17 familles) et les espèces graminoides (22, 12 familles) sont respectivement les plus abondantes en 2004 et en 2014. Au sein de ces phorbes, les familles des Convolvulaceae (4), Asclepiadaceae (3) sont les plus nombreuses (abondantes).

Dans ces formations agropastorales de la vallée de Goulbi N'Kaba, le recouvrement total des légumineuses (804 ; 434 %), des espèces graminoides (708 ; 422,5 %) et des phorbes (495 ; 124,5 %) sont respectivement les plus importants en 2004 et en 2014. Cette tendance s'inverse, en 2014 avec respectivement une dominance des légumineuses (387,5 %), des phorbes (370,5 %) et des espèces graminoides (318 %).

Les phorbes sont plus abondantes mais moins dominantes aussi bien en 2004 qu'en 2014. Les groupes de familles les plus dominantes ne sont pas les plus abondantes.

La dominance des légumineuses sur les champs (terrasses adjacentes) en 2014 témoigne de la valeur relativement élevée du pâturage.

Ensuite viennent les graminoides (surtout les Poaceae) avec la dominance et l'abondance de *Pennisetum glaucum* (L.) R Br., *Sorghum bicolor* (L.) Moench., *Eragrostis tremula* Steud., *Aristida adscensionis* L. et les Cyperaceae avec *Cyperus amabilis* Vahl.

Les fourrages des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N’Kaba sont de bonne valeur fourragère en 2004, car ils ont respectivement 35,27 % ; 40,06 % ; 24,66 % de graminées, légumineuses et phorbes. Il en est de même pour 2014 avec respectivement 43,07 % ; 44,24 % et 12,69 % de graminées, légumineuses et phorbes.

3.1.3 VALEUR FOURRAGÈRE DES ESPÈCES DES COULOIRS DE PASSAGE DE LA VALLÉE DE GOULBI N’KABA

En 2004 et 2014, Valeur fourragère des espèces des couloirs de passage de la vallée de Goulbi N’Kaba sont classées en trois grandes catégories à savoir les espèces graminéides (UF), les légumineuses (MAD) et les phorbes (UF, MAD) (Figure 8).

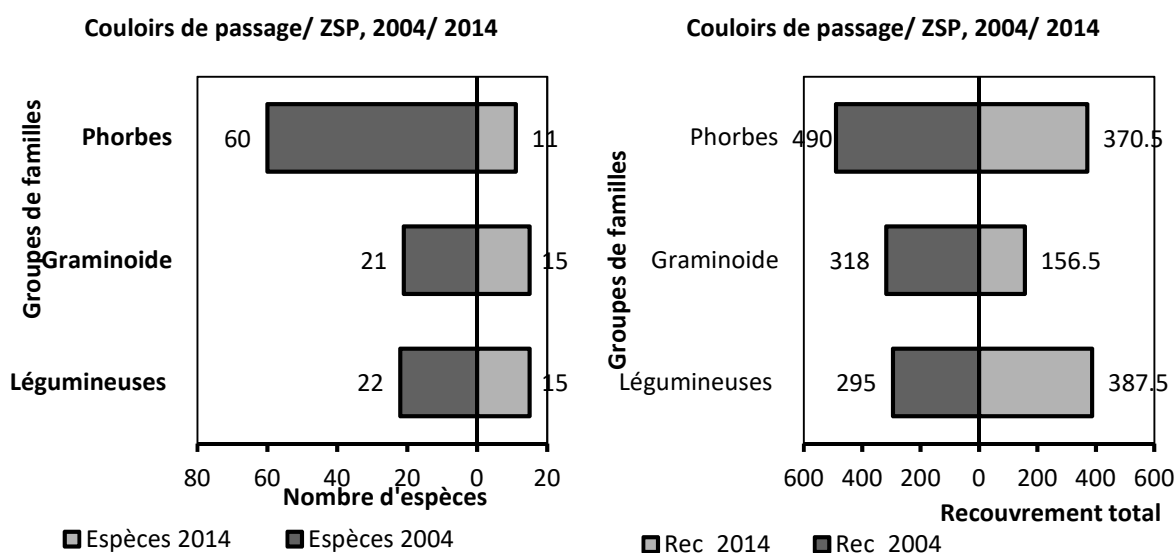


Fig. 8. Répartition des groupes de familles en fonction du nombre d'espèces et du recouvrement total en 2004 et 2014 sur les couloirs de passage, ZSP

Le long des couloirs de passage des zones sylvo-pastorales, les phorbes sont plus abondantes en 2004. Au sein de ces phorbes, les familles des Convolvulaceae (4) et des Asclepiadaceae (3) sont les plus nombreuses. Néanmoins en 2014 la tendance s'inverse, avec un effectif relativement plus élevé des légumineuses (15) et des espèces graminéides (15) (Figure 8).

Dans ces mêmes types de végétation, les phorbes sont les plus dominantes (avec un recouvrement total de 490 %), ensuite viennent les espèces graminéides (318 %) et les légumineuses (295 %) des relevés de 2004. Cette tendance s'inverse, en 2014 avec respectivement une dominance des légumineuses (387,5 %), des phorbes (370,5 %) et des espèces graminéides (318 %) (Figure 8).

La dominance des légumineuses sur les ZSP (couloirs de passage) en 2014 témoigne de la valeur relativement élevée du pâturage.

3.2 VALEUR PASTORALE DE LA VALLÉE DE GOULBI N’KABA : DYNAMIQUE INTERDÉCENNALE

La dynamique de la valeur fourragère de la végétation de la vallée de Goulbi N’Kaba permet de rebondir sur la qualité du pâturage de cette vallée.

3.2.1 SITES DE RÉHABILITATION PASTORALE

En 2004 et 2014 la valeur pastorale des résidus de recolte sur les champs des terrasses adjacentes ont été déterminées (Figure 9).

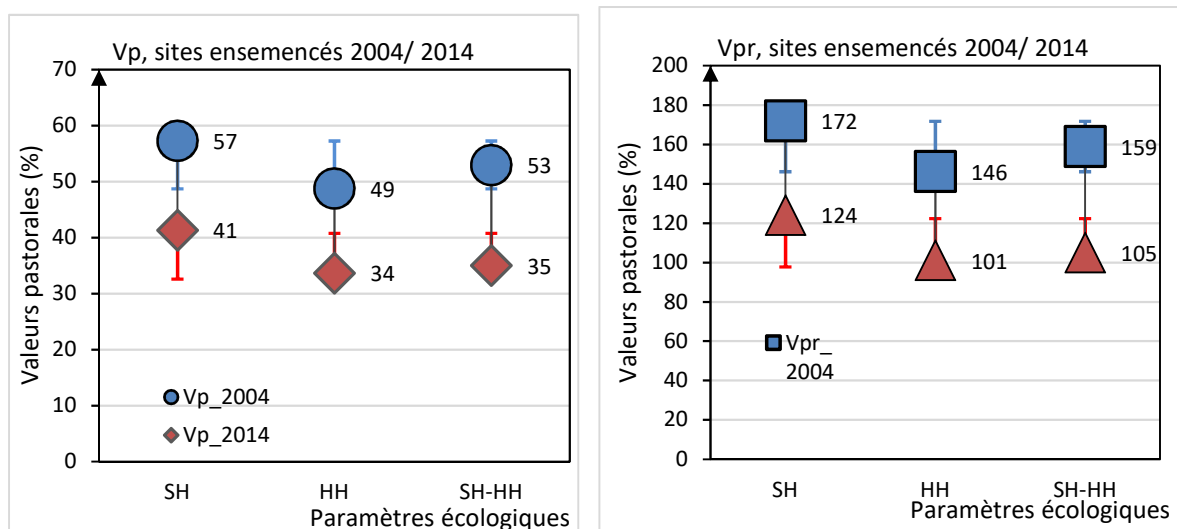


Fig. 9. Valeurs pastorales brute (Vp) et relative (Vpr), Sous houppier (SH) et Hors houppier (HH) des sites ensemençés de 2004 et 2014

Les valeurs pastorales des sites de réhabilitation pastorale sont plus élevées sous la couronne que hors houppier qu'elles soient de 2004 ou de 2014.

Il a été constaté que la valeur pastorale est plus élevée en 2004 (57 ; 49 ; 53 $\pm$ 2,9 %) qu'en 2014 (41 ; 34 ; 35 $\pm$ 3,1 %) (Figure 9). Il en est de même pour la valeur pastorale relative de 2004 (172 ; 146 ; 159 $\pm$ 8,6) et 2014 (124 ; 101 ; 105 $\pm$ 9,3) (Figure 9).

3.2.2 TERRASSES ADJACENTES DE LA VALLÉE DE GOULBI N'KABA

En 2004 et 2014 les valeurs pastorales des résidus de récoltes des champs et jachères des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba ont respectivement été déterminées (Figure 10).

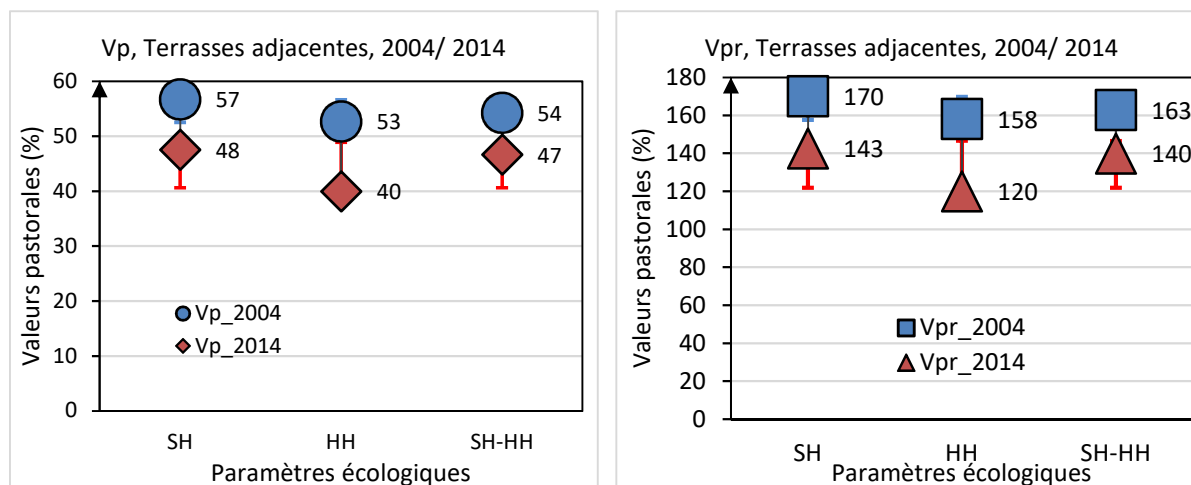


Fig. 10. Valeur pastorale Sous houppier (SH) et Hors houppier (HH) des terrasses adjacentes (champs et jachères) de la vallée de Goulbi N'Kaba de 2004 et de 2014

La valeur pastorale est plus élevée sous houppier (57 %) que hors houppier (52 %).

Celle de 2004 (57 ; 53 ; 54 $\pm$ 1,43 %) est plus élevée que celle de 2014 (48 ; 40 ; 47 $\pm$ 3,15 %), qu'elle soit hors houppier ou sous houppier. Le même constat a été fait sur la valeur pastorale relative de 2004 (170 ; 158 ; 163 $\pm$ 4,3) et celle de 2014 (143 ; 120 ; 140 $\pm$ 9,5).

3.2.3 COULOIRS DE PASSAGE DE LA VALLÉE DE GOULBI N’KABA

En 2004 et 2014, la valeur pastorale des couloirs de passage de la vallée de Goulbi N’Kaba ont respectivement été déterminées (Figure 11).

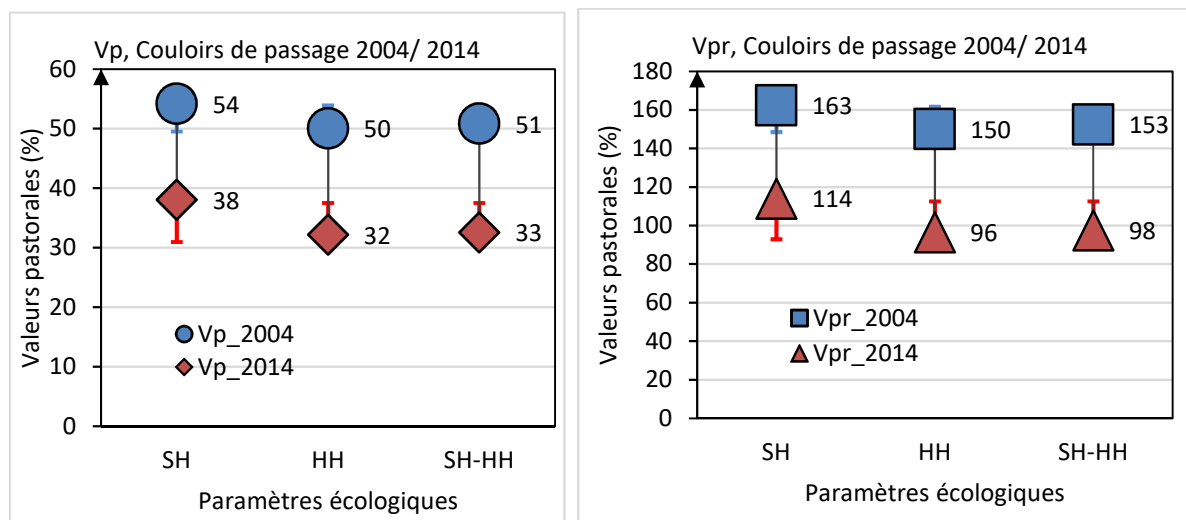


Fig. 11. Valeur pastorale Sous houppier (SH) et Hors houppier (HH) des couloirs de passage de 2004 et 2014.

Au niveau des couloirs de passage, les valeurs pastorales hors houppiers sont supérieures à celles qui sont sous houppier. Il faut aussi ajouter que les valeurs pastorales sous et hors houppier de 2004 (54 ; 50 ; $51 \pm 1,66$ %) sont plus élevées que celles de 2014 (38 ; 32 ; $33 \pm 2,52$ %). La même tendance se poursuit sur la valeur pastorale relative en 2004 (163 ; 150 ; $153 \pm 4,98$) et 2014 (114 ; 96 ; $98 \pm 7,55$).

3.3 PRODUCTIVITÉ DE LA MATIÈRE VÉGÉTALE

3.3.1 PRODUCTIVITÉ DE LA MATIÈRE VÉGÉTALE DES SITES DE RÉHABILITATION PASTORALE.

Les sites de réhabilitation pastorale de 2003 ont en 2004 une phytomasse verte de $5040 \pm 314,8$ kg MV/ ha, celle de matière sèche de $1177,4 \pm 34,54$ kg MS/ ha avec un taux de matière sèche de $32,61 \pm 13,1$ %. En 2014 les phytomasses vertes et sèches sont respectivement de 4200 ± 100 Kg MV/ ha et 1100 ± 20 kg. MS/ ha avec un taux de matière sèche de $26,9 \pm 4,5$ %. Les productivités sous et hors houppiers sont aussi déterminées (Figure 12).

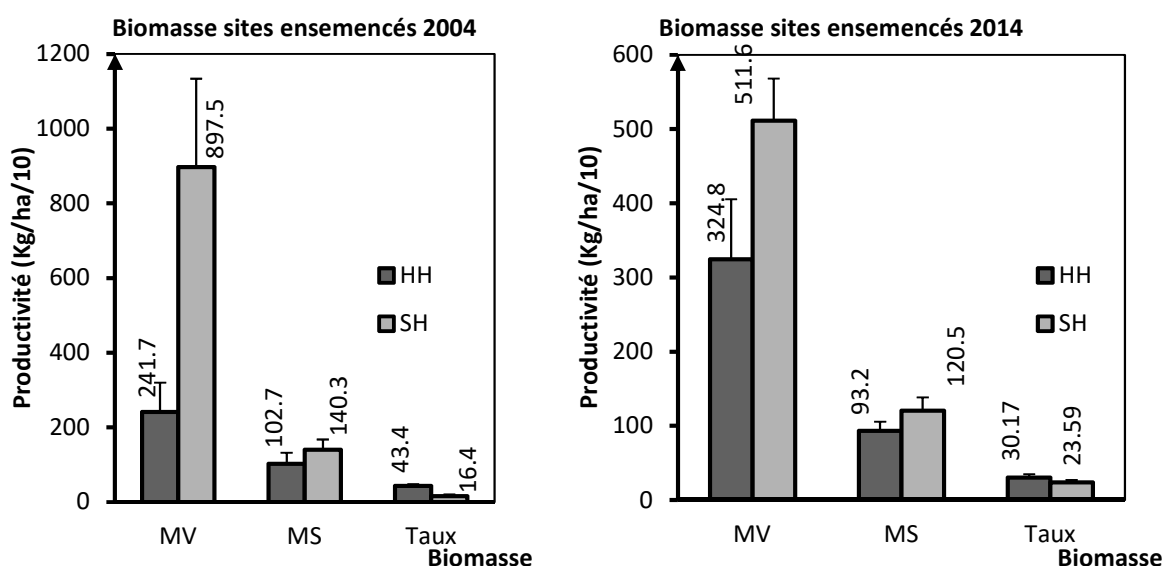


Fig. 12. Productivité de la matière végétale de 2004 et 2014

La production de la matière verte sous le houpier est élevée en 2004 ($8975 \pm 236,25$ kg. MV/ ha) et en 2014 ($5115,9 \pm 564,5$ kg. MV/ ha). La production de la matière sèche est presque similaire sous et hors houpier en 2004 ($1403 \pm 275,5$ kg. MS/ ha ; 1027 ± 298 kg. MS/ ha) et en 2014 ($1204 \pm 180,1$ kg. MS/ ha ; $932 \pm 123,4$ kg. MS/ ha). Elle est en moyenne proche de 1000 kg. MS/ ha. Les espèces sciaphiles dominantes dans ces sites sont *Commelina benghalensis* L., *Achyranthes aspera* L. Ces espèces ont un taux d'humidité élevé.

3.3.2 TERRASSES ADJACENTES

En 2004 et 2014, les terrasses adjacentes sont emblavées par les cultures de mil, de sorgho et de niébé (GB-GT et KH-DK). À celles-là il faut ajouter les cultures de l'oseille et de sésame effectuées autour des champs et même celle de la canne à sucre (*Sorghum bicolor* sucré) localement appelée « takanda » en langue haoussa répartie de manière aléatoire dans les champs. Cette étude n'a pas tenu compte de la biomasse de ces espèces car leurs tiges sont directement consommées ou sont utilisées comme combustible. Les cultures sont le plus souvent soit en monoculture du mil, soit en association mil- niébé. Les pieds du niébé sont fauchés, séchés (au soleil et à l'ombre), ensuite transportés et stockés. La productivité végétale de l'espèce qui a concerné cette étude est celle du mil (*Pennisetum glaucum*).

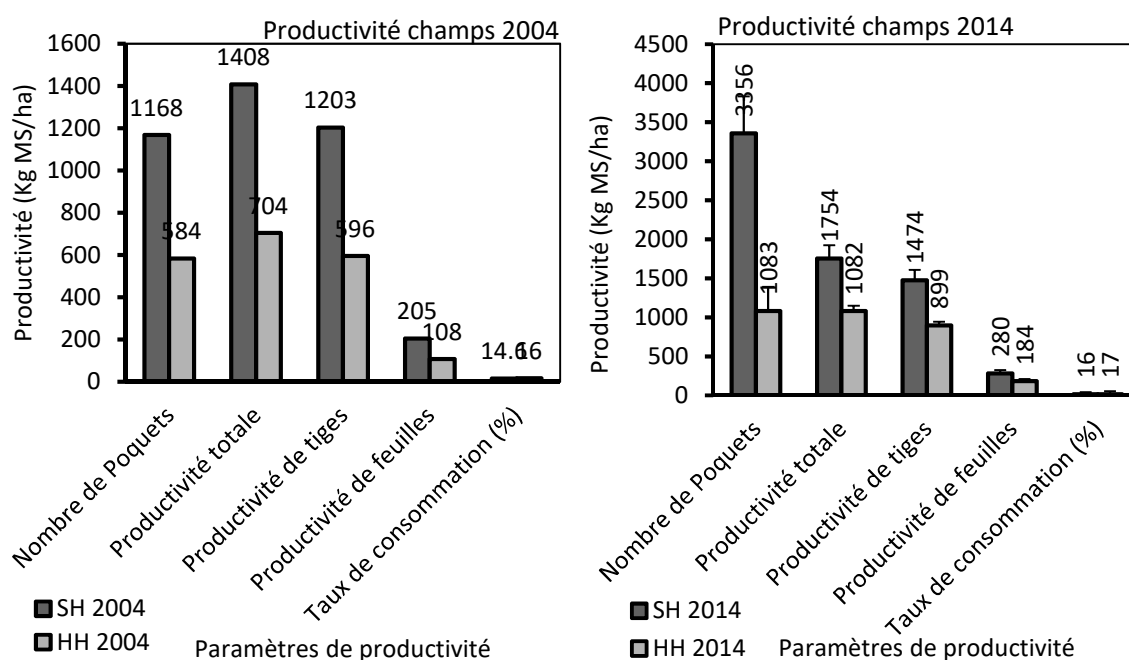


Fig. 13. Productivité de la matière végétale de 2004 et 2014 des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba.

En 2004 le nombre de poquets de mil sous le houpier (1168) est plus élevé que celui du mil hors houpier (584). Cette tendance se maintient au niveau de la productivité totale (1408 et 704 kg. MS/ ha), celle des tiges (1203 et 596 kg. MS/ ha) et celle des feuilles (205 et 108 kg. MS/ha). Mais il faut noter que l'indice de consommation des espèces sous houpier (0,14) est inférieur à celui des espèces hors houpier (0,16).

En 2014 le nombre de poquets sous houpier (3356) est supérieur à celui des espèces hors houpier (1083). On constate la même tendance au niveau des productivités totales (1754 et 1082), celle des tiges (1474 et 899) et celle des feuilles (280 et 184) (Tableau 1). Sous les houpier (couronne, cime) des espèces telles que *Hyphaene thebaica* (L.) Mart., *Faidherbia albida*, (Del.) A. Chev., *Borassus aethiopium* Mart. = *B. flabellifer* L., etc., les lignes de semis ne sont pas respectées. Les semis se font dans le but de valoriser le maximum d'espace compte tenu de la qualité du sol. À ce niveau, la productivité localisée de matière verte et celle de la matière sèche sont beaucoup plus élevées. Les paysans développent une pratique qui consiste à augmenter le nombre de poquets sous les pieds de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., *Hyphaene thebaica* (L.) Mart., etc. Ces deux espèces sont les plus dominantes et les plus abondantes sur les terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba en 2004 et en 2014. Il y a une forte variabilité de la biomasse compte tenu de la densité de semis qui varie en fonction de la nature du sol et du type de couvert dominant. Les jachères ayant un recouvrement supérieur à 10 % ont une biomasse supérieure à 100 kg. MS/ ha sous le couvert.

À celle-là, il faut ajouter la biomasse des espèces spontanées, qui n'est pas aussi à négliger. La biomasse résiduelle est en moyenne de $1127,8 \pm 608,4$ kg. MS/ ha avec un recouvrement ligneux maximal de 23,8 % qui est rare. Il est généralement inférieur à 1% par relevé, en 2004 sur les terrasses adjacentes. La biomasse est de $1398,6 \pm 444,5$ kg. MS/ ha en 2014. Le recouvrement ligneux par relevé est généralement supérieur à 3 % pour *Hyphaene thebaica* (L.) Mart. et aussi supérieur à 15 % pour *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. en 2014 sur les terrasses adjacentes.

La biomasse de 2014 est supérieure à celle de 2004. Il faut ajouter qu'en 2004 sur les champs des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba dominant les espèces telles que *Alysicarpus ovalifolius*, *Cassia mimosoides*, *Polycarpha linearifolia*, *Eragrostis tremula*. En 2014, sur les champs des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba, dominant les espèces telles que *Achyranthes aspera* L., *Sesamum indicum* L., *Commelina forskalaei* Vahl., *Phyllanthus pentandrus* Schum. et Thonn., *Mitracarpus scaber* Zucc. etc.

Tableau 1 : Productivité de la matière végétale des tiges de mil (*Pennisetum glaucum*)

Echant	Poids total (Kg)	Poids feuilles	Poids de tiges	Taux conso	Nbre poquets/ échant	Nbre de tiges/ échant	Nbre de poquets / ha	Masse totale/ha (KgMS/ha)	Masse feuille/ha (Kg MS/ha)	Masse tige/ha (Kg MS/ha)
Lot1	0,71	0,11	0,6	15,5	1,9	10	6000	2242	347,4	1895
Lot2	0,94	0,171	0,769	18,2	1,95	9	4167	2009	365,4	1643
Lot3	0,89	0,162	0,728	18,2	2	9	4167	1854	337,5	1517
Lot4	0,88	0,12	0,76	13,6	2	10	4000	1760	240,0	1520
Lot5	0,84	0,15	0,69	17,9	2,1	10	4167	1667	297,6	1369
Lot6	0,66	0,1	0,56	15,2	2	10	5000	1650	250,0	1400
Lot7	0,73	0,128	0,602	17,5	2	10	4444	1622	284,4	1338
Lot8	0,9	0,108	0,792	12,0	2,22	11	4000	1622	194,6	1427
Lot9	0,75	0,13	0,62	17,3	2	10	4286	1607	278,6	1329
Lot10	0,95	0,13	0,82	13,7	2,1	11	3333	1508	206,3	1302
Lot11	0,88	0,152	0,728	17,3	2	10	3333	1467	253,3	1213
Lot12	0,69	0,096	0,594	13,9	1,85	9	3889	1450	201,8	1249
Lot13	0,89	0,115	0,775	12,9	2,08	11	3333	1426	184,3	1242
Lot14	0,73	0,128	0,602	17,5	1,8	9	3333	1352	237,0	1115
Lot15	0,91	0,17	0,74	18,7	1,95	10	2857	1333	249,1	1084
Lot16	0,9	0,164	0,736	18,2	1,89	9	2727	1299	236,7	1062
Lot17	0,72	0,125	0,595	17,4	1,9	10	3333	1263	219,3	1044
Lot18	0,7	0,132	0,568	18,9	2	9	3333	1167	220,0	947
Lot19	0,79	0,142	0,648	18,0	1,95	10	2857	1158	208,1	949
Lot20	0,81	0,137	0,673	16,9	1,85	10	2500	1095	185,1	909
Lot21	0,68	0,105	0,575	15,4	2,15	10	3333	1054	162,8	891
Lot22	0,69	0,105	0,585	15,2	2	10	2727	941	143,2	798
Moy	0,82	0,13	0,67	16,34	1,99	9,86	3687,33	1479,31	241,02	1238,29
Ecart	0,09	0,02	0,08	1,94	0,07	0,46	475,25	174,05	49,63	139,74

Légende : Conso : consommation ; Écart : écart type ; Échant : échantillon ; ha : hectare ; Moy : moyenne ; MS : Matière sèche ; Nbre : nombre

3.3.3 PRODUCTIVITÉ DE LA MATIÈRE VÉGÉTALE SUR LES COULOIRS DE PASSAGE

La productivité de la matière verte est élevée en 2004 ($3174 \pm 133,1$ kg. MV/ ha) et en 2014 (4800 ± 110 kg. MV/ ha). Celle de la matière sèche est faible en 2004 (908 ± 308 kg. MS/ ha) et en 2014 (1100 ± 30 kg. MS/ ha). Le taux de matière sèche est plus élevé en 2004 ($32,1 \pm 102$ %) qu'en 2014 ($22,04 \pm 9,95$ %). Ensuite, il a été déterminé la productivité sous et hors houppier (Figure 14).

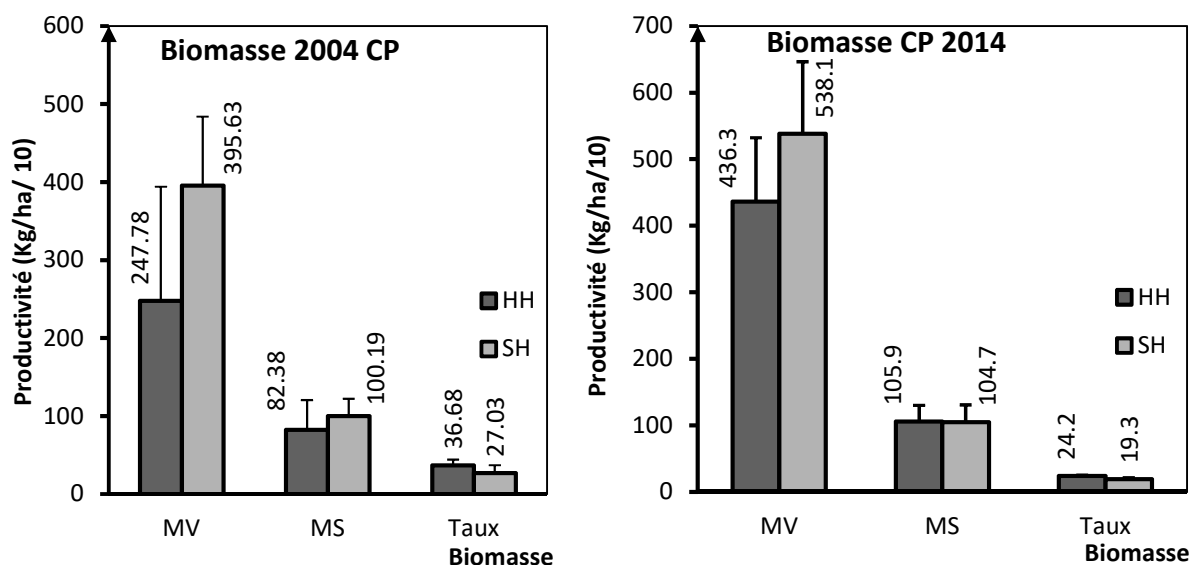


Fig. 14. Productivité de la matière végétale de 2004 (G3, *Leptadenia pyrotechnica*- *Schoenefeldia gracilis*) et 2014 (G3, *Balanites aegyptiaca*- *Glinus oppositifolius*) des couloirs de passage de la vallée de Goulbi N’Kaba.

La productivité de la matière verte est plus élevée sous les houppiers ($3956 \pm 146,32$ kg. MV/ ha) que hors houppiers ($2477,8 \pm 88,39$ kg. MV/ ha) en 2004. Cette tendance se poursuit au niveau de la matière sèche avec $1001,9 \pm 380,9$ kg. MS/ ha et $823,8 \pm 219,4$ kg. MS/ ha. En 2014, la productivité de la matière verte est plus élevée sous les houppiers que hors houppiers. Mais la productivité de la matière sèche est la même sous houppiers ($1047 \pm 260,5$ kg. MS/ ha) et hors houppiers ($1059 \pm 242,8$ kg. MS/ ha). Les biomasses vertes les plus élevées, donnent les matières sèches élevées. Mais le taux de matière sèche n’est pas proportionnel à la quantité de matière verte.

Les couloirs de passage sont des zones fortement perturbées, les espèces dominantes sont représentées par *Sida cordifolia*, *Acanthospermum hispidum* en 2004 et surtout par *Sida cordifolia*, en 2014. Il faut aussi ajouter que *Sida cordifolia* est présente dans presque tous les relevés avec une abondance relative élevée.

Il est important de déterminer le fourrage qualifié pour avoir une idée de l’impact d’aménagement sur les pâturages des sites. Le fourrage qualifié est plus élevé en 2004 ($624,022$ kg. MS/ ha) qu’en 2014 ($390,075$ kg. MS/ ha). Malgré l’absence d’une situation de référence, il est à noter une amélioration du pâturage juste après l’action d’aménagement. Mais cette amélioration s’est inversée et tend même à une dégradation des pâturages en 2014.

3.4 CAPACITÉ DE CHARGE

Les capacités de charge de petits et gros ruminants, ainsi que celles des UBT sont récapitulées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Capacités de charge de 2004 et 2014 de la vallée de Goulbi N’Kaba

Années	Zones	Productivité 2004	CC UBT/ha/an	Nbre de Bovins	Nbre de caprins/ Ovins	P-value
2004	Sites ensemencés	1177,4	0,172	0,215	1,147	0,661
	Champ	1288,05	0,188	0,235	1,255	0,013
	Couloirs de passage	908,8	0,133	0,166	0,885	0,103
2014	Sites ensemencés	1114,5	0,163	0,204	1,086	0,66
	Champ	1639,59	0,24	0,299	1,597	0,01
	Couloirs de passage	1105,5	0,162	0,202	1,077	0,1

La capacité de charge est respectivement plus élevée sur les champs ($0,19$ UBT/ ha/ an), les sites ensemencés ($0,17$ UBT/ ha/ an) et les couloirs de passage ($0,133$ UBT/ ha/ an) en 2004. Il en est de même, cette capacité de charge est respectivement plus élevée sur les champs ($0,24$ UBT/ ha/ an), les sites ensemencés ($0,163$ UBT/ ha/ an) et les couloirs de passage ($0,162$ UBT/ ha/ an) en 2014. Il y a une différence significative (p -value= $0,01$) sur la capacité de charge des champs de 2004 et 2014.

Néanmoins, il n'y a pas des différences significatives de la capacité de charge des sitesensemencés (p -value=0,66) et des couloirs de passage (p -value=0,1).

4 DISCUSSION

4.1 VALEUR FOURRAGÈRE

Les fourrages de 2004 ont une valeur fourragère moyenne, plus élevée que ceux de 2014, qui ont une valeur fourragère faible sur les sites de réhabilitation pastorale. Cette différence s'explique par les proportions faibles des graminées et des légumineuses qui les constituent. À cela il faut ajouter que ses sites ont fait l'objet de pâture avant que les espèces (Poaceae) n'atteignent leur stade phénologique ultime à savoir la fructification et la maturation. Les fourrages des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba sont de bonne valeur fourragère en 2004, et en 2014. Cette qualité fourragère s'explique par les résidus de récoltes qui sont riches en UF (*Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*, etc.) et en MAD (*Vigna unguiculata*). Il y a en plus la dominance des espèces telles que *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Subsp. *unguiculata*, *Alysicarpus ovalifolius* (Schum. Et Thonn.) J. Léonard; et les gousses et feuilles de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. dans les groupements à *Acacia nilotica nilotica-Peristrophe bicalyculata* de 2004 et celui de *Calotropis procera- Eragrostis tremula* de 2014. Sur les couloirs de passage les fourrages sont de faible qualité en 2004 par rapport à ceux de 2014. Il y a un taux élevé de légumineuses en 2014. Cela est dû à la dominance des espèces telles que *Alysicarpus ovalifolius* (Schum. Et Thonn.) J. Léonard., les gousses et les feuilles d'*Acacia tortilis* (forsk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi.) Brenan., de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. sur les couloirs de passage en 2014. Quand à [39] en 2005, au Burkina Faso, il a obtenu des valeurs fourragères de qualité médiocre sur les formations des steppes à épineux des étendus non gravillonnaires (0,74 UF, 28,9 g. MAD/ kg. MS). Il en est de même pour [12] sur les formations des steppes et savanes associées aux zones de collines et reliefs (0,79 UF, 24,2 g. MAD/ kg. MS). Les valeurs fourragères de ces pâturages sont proches de celles des couloirs de passage et des sites de réhabilitation pastorale de 2014.

[40] a obtenu sur les formations des steppes arbustives à graminées des dunes fixées et ensablement de fourrage de bonne qualité (0,55 UF et 53,2 g. MAD/ kg. MS). Ces résultats sont proches à ceux des terrasses adjacentes de la vallée de Goulbi N'Kaba. Au Nord-Est Bénin, [41] en 2010 a eu presque les mêmes résultats avec les graminées de bonne valeur fourragère (*Andropogon* spp, *Hyparrhenia* spp et *Pennisetum* spp) qui dominent les parcours, de même que les légumineuses herbacées comme *Tephrosia* spp et *Alysicarpus* spp [41]. En générale cette valeur fourragère est de 0,94 UF et 78,7 g. MAD/ kg. MS sur la zone sahélienne, et 0,88 UF et 109,9 g. MAD/ kg. MS sur la zone nord sahélienne [39]. Toutes ces deux (2) zones ont d'excellent fourrage.

4.2 VALEUR PASTORALE DE LA VALLÉE DE GOULBI N'KABA

Les valeurs pastorales des sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs de passage de 2004 (52,9 % ; 54,3 % ; 50,8 %) sont respectivement plus élevées que celles de 2014 (35,0 % ; 46,7 % ; 32,5 %). Cela est dû au faible impact de l'opération d'ensemencement de 2002, 2003 ; aux résidus de récolte qui sont plus importants dans les champs en 2004 qu'en 2014 et à la pression de pâture plus élevée en 2014 qu'en 2004. [36] au Burkina Faso a obtenu des valeurs pastorales (42,1 à 43,2 %) proches de celle de cette étude en 2014 sur les formations des steppes et savanes associées aux zones de collines et reliefs, et aussi celles des formations des steppes à épineux des étendus non gravillonnaires (45,1 % à 46 %). Elles sont aussi proches de celles des parcelles traitées à base de digue filtrante (avec 42,4 %) et celles des parcelles témoins (avec 38,6 %) en 1999 au Burkina Faso [36]. En 2003 cette même productivité est de 40 % sur les parcelles traitées et 40,4 % sur les témoins [36] dans le Sahel au Burkina Faso. En Côte d'Ivoire Kouassi a obtenu une valeur pastorale de 40,91 % [30], proche de celles de cette étude. Les valeurs pastorales sur les formations des steppes arbustives à graminées (56,6 à 61,6 %) des dunes fixées et ensablement [42] sont plus élevées que celles de cette étude en 2014.

En 2011, [15] a trouvé dans la région de Zinder les valeurs pastorales des pâturages des groupements à *Leptadenia pyrotechnica- Aristida sieberiana*, *Acacia tortilis- Digitaria horizontalis*, *Grewia tenax- Cymbopogon schoenanthus*, , *Acacia nilotica- Echinochloa colona*, *Balanites aegyptiaca- Setaria pallide fusca*, *Acacia erhenbergiana-Sesbania leptocarpa*, *Sclerocarya birrea-Brachiaria xantholeuca*, *Boscia senegalensis- Cenchrus biflorus* sont respectivement de 49,2 % ; 57,94 %, 64,17 %, 69,10 %, 70,33 %, 70,45 %, 77,16 %, 82,28 %. Ces valeurs sont supérieures à celles des sites de réhabilitation pastorales, des terrasses adjacentes et celles des couloirs de passage de la vallée de Goulbi N'Kaba de 2014. Les groupements à *Salvadora persica- Brachiaria ramosa* a seulement une valeur inférieure (33,86%) [15] à celles de cette étude.

Les valeurs pastorales de sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs de passage hors houpier de 2004 (48,7 % ; 52,7 % ; 50,0 %) sont plus élevées que celles de 2014 (33,7 % ; 40 % ; 32,2 %). Cela est dû aux espèces envahissantes du genre *Sida* et *Acanthospermum* qui ont colonisé de grandes surfaces. Les sols de ces couloirs et des sites de

réhabilitation pastorale sont le plus souvent nus ou colonisés par *Sida cordifolia*, *Acanthospermum hispidum*, *Achyranthes aspera*, etc. Les valeurs pastorales hors couvert (41,6 % ; 30,7 % ; 2,3 % ; 0 %) dans la zone sahélienne du nord Sénégal [35] sont inférieures à celles de cette étude. Ces valeurs pastorales du nord Sénégal sont classées respectivement bonne, moyenne, faible et sans valeurs pastorales.

Les valeurs pastorales de sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs de passage sous houppier de 2004 (57,3 % ; 56,7 % ; 54,2 %) sont plus élevées que celles de 2014 (41,3 % ; 47,5 % ; 38 %). Cela est dû à la densité des espèces ligneuses plus élevée tels que *Faidherbia albida*, *Hyphaene thebaica*, etc en 2004 qu'en 2014. En plus sur les terrasses adjacentes, les relevés ont été effectués après le deuxième (2^{ème}) sarclage en 2014. Il était aussi tardif (mi-août à début-septembre en 2014). Malgré ce sarclage quelques espèces ont pu se développer rapidement sous le houppier, raison pour laquelle, elles ont une valeur pastorale plus élevée que celles qui étaient hors houppier. Au nord Sénégal sous houppier, les valeurs pastorales (29,1 % ; 29,5 % ; 7,5 % ; 0 %) sont inférieures à celles de cette étude [35]. Les zones de vallées de Goulbi N'Kaba ont une bonne valeur pastorale.

4.3 PRODUCTIVITÉ DE LA MATIÈRE VÉGÉTALE

Les productivités de sites de réhabilitation pastorale de 2004 et 2014 sont presque similaires (p -value = 0,66). Cela est dû au fait que les relevés ont été tardifs en 2014. Celles des terrasses adjacentes de 2004 est légèrement moins élevée que celle de 2014. Cela est dû à la précocité du deuxième (2^{ème}) sarclage. Lorsqu'il est réalisé avant mi-juillet, la biomasse en fin période active est élevée. Mais s'il est effectué vers fin juillet la biomasse est faible, parce que la plupart des adventices vont se faner au début de leur développement (stade phénologie de croissance). En plus, la densité des semis est plus élevée en 2014 qu'en 2004. Celle des couloirs de passage de 2004 (1288,05 kg. MS/ ha ; 908,8 kg. MS/ ha) est moins élevée que celle de 2014 (1639,59 kg. MS/ ha ; 1105,5 kg. MS/ ha)). Il faut noter que la pluie est plus tardive en 2014 avec 28 jours de pluie, qu'en 2004 avec 18 jours de pluie. La hauteur de pluie est plus élevée en 2014 (480,8 mm) qu'en 2004 (430,2 mm). Les couloirs de passage sont envahis par des espèces telles que *Sida cordifolia*, *Acanthospermum hispidum*, etc. qui ont de biomasses élevées dues à leur pouvoir de colonisation, mais aussi à leur taille. Néanmoins, le taux de matière sèche de 2004 est plus élevé que celui de 2014. Cela est dû au fait que les espèces caractéristiques de 2004 telles que *Leptadenia pyrotechnica* et *Schoenefeldia gracilis* ne sont pas les mêmes que celles de 2014 (*Balanites aegyptiaca* et *Glinus oppositifolius*). Certaines retiennent plus d'eau que d'autres.

La production de la phytomasse sur les formations des steppes à épineux des étendus non gravillonnaires du Sahel burkinabè (400 à 970 kg. MS/ ha/ an) et celle des formations des steppes et savanes associées aux zones de collines et reliefs (400 à 600 kg. MS/ ha/ an) [39], sont inférieures à celles de cette étude. Il en est de même au Burkina Faso, des parcelles témoins en 2003 (662,2 kg. MS/ ha) sont inférieures à celle de cette étude [36]. Quant à celles des formations des steppes arbustives à graminées des dunes fixées et ensablement (2200 kg. MS/ ha/ an) [39], elles sont plus élevées que celles de cette étude. Il en est de même des parcelles traitées à base de digue filtrante dans le Sahel burkinabè en 1999 (4150 kg. MS/ ha) et en 2003 (2021 kg. MS/ ha) [36], qui sont plus élevées que celles de cette étude. Quant aux parcelles témoins, il est constaté une productivité (1383 kg. MS/ ha) en 1999, proche de celle de cette étude [36]. Il en est de même, la productivité potentielle du sahel typique (1000 à 2000 kg. MS/ ha) est proche de celle de cette étude et celle du Sahel subdésertique (400 kg. MS/ ha/ an) [12] en est inférieure.

Dans la région de Zinder, en 2011, [15] a eu une productivité élevée de 2040 ± 520 kg. MS/ ha dans les groupements à *Leptadenia pyrotechnica*- *Aristida sieberiana*. Au niveau des groupements à *Salvadora persica*- *Brachiaria ramosa*, *Grewia tenax*- *Cymbopogon schoenanthus* (1790 ± 640 kg. MS/ ha ; 1670 ± 460 kg. MS/ ha), ces valeurs sont proches de celle des terrasses adjacentes en 2014 (1639 kg. MS/ ha). Toujours [15] sur les parcours de Zinder, a obtenu dans des groupements à *Acacia erenbergiana*-*Sesbania leptocarpa* (1460 ± 540 kg. MS/ ha), *Sclerocarya birrea*- *Brachiaria xantholeuca* (1340 ± 620 kg. MS/ ha), *Boscia senegalensis*- *Cenchrus biflorus* (1330 ± 440 kg. MS/ ha) et *Acacia nilotica*- *Echinochloa colona* (1260 ± 240 kg. MS/ ha) des productivités, qui sont supérieures à celle des couloirs de passage de 2014 (1105,5 kg. MS/ ha). Celles des groupements *Acacia tortilis*- *Digitaria horizontalis*, *Balanites aegyptiaca*- *Setaria pallide fusca*, en sont inférieures 870 ± 340 kg. MS/ ha, 680 ± 160 kg. MS/ ha.

Sur les sites réhabilités, les biomasses hors et sous houppier sont plus élevées en 2004 (1027 kg. MS/ ha, 1403 kg. MS/ ha) qu'en 2014 (932 kg. MS/ ha, 1205 kg. MS/ ha). Cela est dû à l'effet de réhabilitation. Sur les couloirs de passage, la biomasse hors houppier est plus élevée en 2014 (1059 kg. MS/ ha) qu'en 2004 (823,8 kg. MS/ ha). Il en est de même pour les biomasses sous houppier qui sont de 1047 kg. MS/ ha et 1002 kg. MS/ ha.

Le fourrage qualifié des sites de réhabilitation de 2004 est supérieur à celui de 2014 (390,07 kg. MS/ ha). Cela est dû au fait qu'aucun ensemencement n'a subi après celui de 2002, 2003 et que les sites n'ont pas été bien mis en defens. Néanmoins le fourrage qualifié des parcelles traitées à base de digue filtrante (1489,9 kg. MS/ ha) en 1999 et en 2003 (602,3 kg. MS/ ha) [36]

sont supérieurs à ceux de cette étude. Les fourrages qualifiés des parcelles témoins en 1999 (496,5 kg. MS/ ha), en 2003 (152,5 kg. MS/ ha) étant faible [36].

4.4 CAPACITÉ DE CHARGE

La capacité de charge des sites de réhabilitation pastorale de 2004 (0,172 UBT/ ha) est légèrement supérieure à celle de 2014 (0,163 UBT/ ha). Celles des terrasses adjacentes de 2004 (0,188 UBT/ ha) sont similaires à celles de 2014 (0,240 UBT/ ha). La capacité de charge des couloirs de passage suit la même tendance que celle des sites de réhabilitation, en 2004 (0,133 UBT/ ha) et en 2014 (0,162 UBT/ ha).

Les capacités de charge de cette étude sont intermédiaires à celles du Sahel subdésertique (0,083 UBT/ ha) et le sahel typique (0,25 UBT/ ha) ([12]). Les capacités de charge de cette étude sont comprises dans l'intervalle de celles des formations des steppes à épineux des étendus non gravillonnaires (0,14 à 0,3 UBT/ ha) du Burkina Faso et celui des formations des steppes arbustives à graminées des dunes fixées et ensablement (0,14 à 0,4 UBT/ ha). Les capacités de charge de 0,29 à 0,23 UBT/ ha des formations des steppes et savanes associées aux zones de collines et reliefs (IEMT, 1987) sont supérieures à celle de cette étude. Il en est de même des parcelles traitées à base des digues filtrantes en 1999 (1,92 UBT/ ha) et en 2003 (0,6 à 0,29 UBT/ ha) [36] qui ont des valeurs supérieures à celle de cette étude. Elle est proche à légèrement supérieure à celles des parcelles témoins en 1999 (0,17 UBT/ ha) et en 2003 (0,09 à 0,2 UBT/ ha) [36]. Les parcelles traitées ont une capacité de charge plus élevées que celles de cette étude. L'axe Port-Bouët - Grand-Bassam (Abidjan, Côte d'Ivoire) donne une capacité de charge (0,96 UBT/ha) aussi plus élevée [30].

La capacité de charge annuelle pour les pâturages à *Salvadora persica-Brachiaria ramosa* (0,30 ± 0,09 UBT/ha) [15] est supérieure à celle de tous les sites de cette étude. Celles des groupements à *Leptadenia pyrotechnica-Aristida sieberiana* (0,26 ± 0,09 UBT/ ha), *Balanites aegyptiaca-Setaria pallide fusca* (0,24 ± 0,07 UBT/ ha), *Acacia erhenbergiana-Sesbania leptocarpa* (0,21 ± 0,10 UBT/ ha) sont proches de celle du groupement à *Calotropis procera-Eragrostis tremula* (0,240 UBT/ ha). Les groupements à *Sclerocarya birrea-Brachiaria xantholeuca* (0,19 ± 0,09 UBT/ ha), *Boscia senegalensis-Cenchrus biflorus* (0,19 ± 0,06 UBT/ ha), *Acacia nilotica-Echinochloa colona* (0,18 ± 0,04 UBT/ ha), ont une capacité supérieure à celles des terrasses adjacentes de 2014 (0,163 UBT/ ha), des couloirs de passage de 2014 (0,162 UBT/ ha). Elle-même est plus élevée que celle des parcours de la région de Zinder à *Acacia tortilis-Digitaria horizontalis* (0,13 ± 0,34 UBT/ ha), *Grewia tenax-Cymbopogon schoenanthus* (0,1 ± 0,02 UBT/ ha).

Les sites réhabilités ont subi une forte pression animale (pâturage). La capacité de charge est plus élevée dans les champs parce qu'en plus de résidus de cultures il y a la biomasse résiduelle des espèces spontanées. La capacité de charge des sites réhabilités en 2004 est plus élevée que celle des couloirs de passage parce que ces sites sont aménagés et subissent moins de pression.

5 CONCLUSION

L'étude de la valeur pastorale de la vallée de Goulbi N'Kaba sur les sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs de passage a permis d'apprécier les valeurs fourragères, les valeurs pastorales, les productivités afin de rebondir sur les capacités de charge des sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes (champs) et des couloirs de passage.

Valeur fourragère : les fourrages de 2004 ont une valeur plus élevée que ceux de 2014, sur les sites de réhabilitation pastorale. Malgré l'ensemencement des Poaceae, les phorbies et les légumineuses ont pris place en 2004 et en 2014. L'ensemencement n'aboutit pas toujours à l'amélioration de la valeur fourragère, surtout si la mise en défens n'est pas bien suivie. Les espèces (Poaceae) n'ont pas pu atteindre leur stade phénologiques ultimes à savoir la fructification et la maturation. Sur les terrasses adjacentes la valeur fourragère est plus élevée en 2014 qu'en 2004. La densité des semis élevée de 2014 a augmenté avec la quantité des résidus de récoltes qui sont riches en UF (*Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*, etc.) et en MAD (*Vigna unguiculata*), qui vont améliorer la qualité fourragère.

Valeur pastorale : les valeurs pastorales des sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs de passage de 2004 sont plus élevées que celles de 2014. La nature des sols qui sont de plus en plus lessivés, les facteurs climatiques ont contribué à la multiplication des espèces envahissantes (*Sida cordifolia* et *Acanthospermum hispidum*) au détriment des espèces les plus appréciées et qui sont riches. La pression de pâturage a aussi fait regressé les espèces fourragères. Celles des espèces sous houppier sont plus élevées que celles des espèces hors houppier. En effet sous couvert végétal (*Faidherbia albida*, *Hyphaene thebaica*), le sol est plus riche en matière organique.

Productivité : Les pluies plus tardives (en 2014), avec des quantités élevées et une durée beaucoup plus longue en 2014 qu'en 2004 a fait en sorte que les productivités des sites de réhabilitation pastorale, des terrasses adjacentes et des couloirs

de passage 2014 sont légèrement plus élevées voire même similaires à celles de 2004. En plus il faut ajouter le deuxième (2^{ème}) sarclage qui était précoce en 2014 sur les terrasses adjacentes. Les couloirs de passage ont été colonisés par des espèces envahissantes aux tiges plus épaisses voire même ligneuses (à un stade phénologique) telles que *Sida cordifolia*, *Acanthospermum hispidum*, etc. La productivité des couloirs de passage de 2014 est plus élevée que celle de ceux de 2004. Quand à la capacité de charge, elle suit la même tendance que la productivité, mais avec des valeurs d'autant plus faibles. Dans la vallée de Goulbi N'Kaba, les espèces les plus dominantes ne sont pas les plus consommées. En plus il y a d'autres paramètres (laissées pour la régénération, termites, piétinements, souillures par les fèces, souillures par les urines, dissémination, transport de fanes, transport de paille, feux de brousse, etc.) qui font en sorte que tout le fourrage ne puisse pas être consommé par les animaux pâturant la zone.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé sur fond propre et avec l'appui technique de l'Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi (UDD-Maradi), de l'Université de Diffa et de l'Institut Pratique de Développement Rural de Kollo (IPDR/ Kollo).

REFERENCES

- [1] Rhissa Z., *La revue du secteur de l'élevage au Niger*. FAO/ SFW. Ministère de l'Elevage, des Pêches et des Industries Animales. République du Niger, 115p + annexes, 2010.
- [2] Siddo A., Amadou M. S. et Moctari M., *La place de l'élevage transhumant dans les revenus des communes au Niger : Quel soutien en retour pour les pasteurs ? La contribution de l'élevage pastoral à la sécurité et au développement des espaces Saharo-sahéliens*, Colloque Régional de N'Djamena, 27-29 mai 2013, Fédération Nationale des Éleveurs du Niger (FNEN-Daddo), SPCR, ZFD/GIZ. 6p, 2013.
- [3] Atté I., Alpha O., Boureima A., Zezza A., Bocoum I., Morgan N., Hiernaux P., Kalilou A., *Les statistiques sur l'élevage au Niger : Situation et perspectives du 28 au 30 octobre 2013*, Hôtel Terminus Niamey, Niger, Ministère de l'Élevage, Banque Mondiale, FAO, CNRS, ICRISAT, CTB. Joint brief of the World Bank, FAO, ILRI, AU, IBAR with support from the Gates foundation, Compte rendu, 37p, + annexes, 2013.
- [4] Bocoum I. et Hiernaux P., *Les statistiques sur l'élevage au Niger : Situation et perspectives du 28 au 30 octobre 2013*, Hôtel Terminus Niamey, Niger. Banque Mondiale, CNRS. Joint brief of the World Bank, FAO, ILRI, AU, IBAR with support from the Gates foundation. Compte rendu. Banque Mondiale, CNRS, pp. 12-13, 2013.
- [5] SDR, Secrétariat exécutif de la SDR, *Stratégie de Développement Rurale. Le secteur rural, principal moteur de la croissance économique*, 66 p, 2003.
- [6] Hamidou M. O., *Accaparement des terres pastorales : cas de la commune rurale de Bitinkodji, région de Tillabéry*. Mémoire de fin du premier cycle. Département Élevage/ IPDR/ Kollo, 56 p, 2016.
- [7] AREN. Plan stratégique « *Développement et Défense du Pastoralisme : comme mode de vie et de production adapté aux écosystèmes sahéliens et soudano sahélien* » 73 p, 2013.
- [8] Danguioua A., *Étude diagnostic des stratégies et politiques nationales agricoles au Niger et propositions d'amélioration*, Volume 2 : Synthèses des Stratégies et Politiques Agricoles. Rapport final. Fiches complémentaires. Stratégie de Développement accéléré et de Réduction de la Pauvreté (SDRP), Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger (RECA), 81 p, + annexes, 2009.
- [9] MDA., *Stratégie décentralisée et partenariale d'Approvisionnement en Intrants pour une Agriculture Durable*. Ministère du Développement Agricole (MDA) ; Mois d'août ; 41 p, + annexes, 2006.
- [10] Breman H., et Ridder N., *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. Éditions Karthala, ACCT, CABO-DLO et CTA. ISBN : 2-86537-339-8. 481 p, 1991.
- [11] M. Westoby, *Elements of theory of vegetation dynamics in arid rangelands*, *Isr.J. Bot.* 28, pp. 169- 194, 1980.
- [12] Boudet G., *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*, Ministère de la coopération et du développement : Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVT) ; Collection manuels et précis d'élevage (deuxième édition), France, 266 p, 1991.
- [13] PAFN, *Plan d'aménagement de la doumeraie du Goulbi N'Kaba (Mayahi) Projet d'Amenagement des Forêts Naturelles*, Direction de l'Environnement, Ministère de l'hydraulique, de l'environnement et de la Lutte Contre la Désertification, République du Niger. Assistance technique CIRAD-Forêt/ Louis Berger, FAD Fonds Africains de Développement, 122 p, 2004.
- [14] Gounot M., *Méthodes d'étude quantitative de la végétation*. Paris, Masson, 314 p, 1969.

- [15] Soumana I., *Groupements végétaux pâturés des parcours de la région de Zinder et stratégies d’exploitation développées par les éleveurs Uda’en*. Thèse de Docteur Ès Sciences Biologiques Appliquées. Écologie végétale et Pastoralisme. FS/ UAM, AFC, INRAN, ROSELT, 222 p, 2011.
- [16] Ph. Daget et J. Poissonnet, Biodiversité et végétation pastorale. *Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 50 (2) : pp. 141-144, 1997.
- [17] Ph. Daget, Sur le concept de mesure et son application en écologie générale. *Vie et Milieu*, 32 : pp. 61-68, 1982.
- [18] Ph. Daget et J. Poissonnet, Une méthode d’analyse phytologique des prairies. Critères d’application. *Annales Agronomiques*, 22 : pp. 5- 41, 1971.
- [19] Blondel J., *Biogéographie et écologie*. Paris, France, Masson, 172 p. 1979.
- [20] Veira Da Silva J., *Introduction à la théorie écologique*. Paris, France, Masson, 112 p, 1979.
- [21] Banoin M., Gueye C., Soumana I., Mahamane A., Jouve P., *Péjorations climatiques et évolution des pratiques de la transhumance en zone agropastorale sahélienne, cas de l’arrondissement de Mayahi, au Niger in Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel*. Acte du séminaire des 2-3 avril 1996, CNEARC, Montpellier, France. Pp. 43-52, 1996.
- [22] Ahmed O., et Rouscoua B., *Bilan et analyse des aspects hydro – environnementaux, écologiques et socio-économiques du bassin du fleuve Niger au Niger*, Analyse diagnostique du bassin du fleuve Niger. MRE/ FEM/PNUD, Niger, 2001.
- [23] Saadou M., *État des lieux de la diversité végétale et mise en place du dispositif de suivi environnemental du PAFN au niveau des massifs prioritaires de Baban Rafi (Madarounfa), du Goulbi N’kaba (Mayahi), Marigouna Bella (Dosso) et Onsolo (Téra)*. Projet Aménagement des Forêts Naturelles (PAFN), 267 p, 2004.
- [24] Mahamane A., M. Saadou, Y. Bakasso, K. Saley, B. Oumarou, A. Tanimoune, *Appui pour la validation de l’état des lieux de la diversité végétale dans le dispositif de suivi environnemental*. République du Niger. Ministère de l’Hydraulique, de l’Environnement et de la Lutte Contre la Désertification. Direction de l’Environnement. Assistance technique au Projet PAFN (Projet d’Aménagement des Forêts Naturelles). Groupement Cirad-forêt_ Louis Berger. Campus International de Baillarguet. TA 10/ D. 3498 Montpellier cedex 5, France. 2006.
- [25] Mahamane A. et Saadou M., *Méthodes d’étude et d’analyse de la flore et de la végétation tropicale. Actes de l’Atelier sur l’harmonisation des méthodes*. Niamey du 04 au 09 août, 2008. Département de Biologie. Faculté des Sciences. Université Abdou Moumouni de Niamey. Financement Union Européenne. SUN-UE, Sustainable Use of Natural vegetation in West Africa, 75 p + annexes, 2008.
- [26] Levang P. & Grouzis M., 1980. Methodes d’étude de la biomasse herbacée des formations sahéliennes : application a la mare d’Oursi, Haute Volta. *Oecolo. Plant.*, 1(15), 3 : 231-244.
- [27] D. Ngom, A. Bakhoun, S. Diatta, et L.-E. Akpo, Qualité pastorale des ressources herbagères de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (1) : 186-201. ISSN 1991-8631. 2012.
- [28] Toko I. I., *Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des toposéquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin*. Gestion de l’Environnement. Dynamique des Ecosystèmes et Aménagement du Territoire. Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines. Faculté des sciences et technique. Université d’Abomey-Calavi. Thèse. 241 p, 2008.
- [29] Ouédraogo O., *Phytosociologie, dynamique et productivité de la végétation du parc national d’Arly (sud-est du Burkina Faso)*. Option : Botanique et Phyto-écologie. Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées. Laboratoire de Biologie et Écologie Végétales. UFR/SVT (Unité de Formation et de Recherche/ Sciences de la Vie et de la Terre) pour l’obtention du titre de Docteur de l’Université de Ouagadougou, 2009.
- [30] A. F. Kouassi, K. J. Koffi, K. S. B. N’Goran, J. Ipou Ipou, Potentiel de production fourragère d’une zone pâturée menacée de destruction : cas du cordon littoral Port-Bouët et Grand –Bassam. ISSN 1997–5902. *Journal of Applied Biosciences* 82 : pp. 7403 – 7410, 2014.
- [31] Barral H., Bénéfice E., Boudet G., Denis J. P., *Systèmes de production d’élevage au Sénégal dans la région du Ferlo : synthèse de fin d’études d’une équipe de recherches pluridisciplinaires*. ACC - GRIZA (LAT) : 172 p, 1983.
- [32] PNUE, *Introduction au Projet Ecosystèmes pastoraux sahéliens : Rapport général*. Système mondial de surveillance continue de l’environnement. Gems, Série Sahel, PNUE/ ONU-AA, Rome, Anonyme, 145 p, 1988.
- [33] Boudet G., *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. 4e éd. Paris, Ministère de la Coopération, Manuels et Précis d’élevage 4, 1- 254. 1984.
- [34] Aidoud A., *Contribution à l’étude des écosystèmes steppiques du sud-oranais. Phytomasse, productivité et application pastorale*. Thèse de troisième cycle, USTHB, Alger, 142 p, 1983.
- [35] L.-E. Akpo et M. Grouzis Valeur pastorale des herbages en région soudanienne, le cas des parcours sahéliens du Nord-Sénégal. *Tropicultura*, 2000, 18.1, pp. 1-8, 2000.
- [36] A. Kiema, *Effets des techniques de restauration et d’exploitation des pâturages naturels sahéliens sur la dynamique de la production fourragère*, Option, Systèmes de Production Animale. Spécialité : Nutrition et Alimentation. Doctorat unique en développement rural. 175 p, + annexes, 2008.

- [37] Sinsin B., *Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord du Bénin*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 390 p, 1993.
- [38] D. Agonyissa D. & Sinsin B., Productivité et capacité de charge des pâturages naturels au Bénin. *Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 51 (3) : pp 239-246. 1998.
- [39] Ouédraogo T., Kiema A., Ouédraogo B., Kafando A., Sanou S., *Caractérisation des ressources fourragères de la province du Soum*, INERA – PDES II, 46 p, 2005.
- [40] Grouzis M., *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso)*. Thèse de doctorat d'État es-science, Université de Paris-Sud. ORSTOM, Paris, Études et thèses, 336 p, 1988.
- [41] Djenonti J. A., *Dynamique des stratégies et des pratiques d'utilisation des parcours naturels pour l'alimentation des troupeaux bovins au Nord-Est du Bénin*. École Doctorale des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Écologie Appliquée Faculté des Sciences Agronomiques École, Université D'Abomey Calavi, République du Bénin, 215p, 2010.
- [42] Kiema A., *Ressources pastorales et leurs modes d'exploitation dans deux terroirs sahéliens du Burkina Faso*. Mémoire de DEA en gestion intégrée des ressources naturelles, IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso ; 66 p, 2002.

L'IMPACT DU PETROLE DANS LES RELATIONS NORD SUD: CAS DE L'INTERVENTION DE L'OTAN EN LIBYE

Jean Paul NAWEJI MUSENDEKA

Licence en Relations internationales, Université de Likasi, RD Congo

Copyright © 2018 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: Everyone in the era of globalization knows that international relations are influenced by the oil economy. That said, the oil trade has become a main activity of the world's peasants. From where countries this resource is sought became a threat. It should be noted that the problem of oil continues to be on the agenda in international society and is not limited to technological or economic developments but also to political dimensions. Which is to say that oil helps to determine the hierarchy of state power. That is why, it serves to make war in other words a source of some conflicts of the world. This present work illustrates the case of the war in Libya where NATO intervention was behind oil and gas. Libya is a coveted country, its oil and gas, a great wealth with reserves estimated at 44 and 46.4 million barrels, the largest in Africa. This country occupies an ultra-sensitive position on the hydrocarbon market, without forgetting its crude which is of excellent quality or its activities are close to the most important European refining centers of the world. Force is a revision that this war, that the UN under the resolution to overthrow the regime of Gaddafi, because it had become a threat to the interests Western. Which brings to understand that, this war had nothing with the protection of civilians advocated by the West, but it was directed against the Libyan guide in the person of Gaddafi and also against China for the oil and gas .

KEYWORDS: Oil, Africa, Libya, NATO.

RESUME: Nul n'ignore qu'à l'ère de la mondialisation les relations internationales sont influencées par l'économie pétrolière. Ceci dit, le commerce du pétrole est devenu une activité principale des pays puissants du monde. D'où les pays possédant cette ressource tant recherchée deviennent une menace.

Soulignons que, le problème pétrolier continue à être à l'ordre du jour au sein de la société internationale et ne se limitent pas seulement à des abonnées technologiques ou économiques mais aussi aux dimensions politiques. Ce qui revient à dire que le pétrole contribue à déterminer la hiérarchie de la puissance des Etats. Voilà pourquoi, il sert à faire la guerre autrement dit une source de certains conflits du monde.

Ce présent travail illustre le cas de la guerre en Lybie ou l'intervention de l'Otan était derrière le pétrole et le gaz.

La Lybie est un pays convoité, de son pétrole et gaz, une grande richesse avec ses réserves estimés en 44 et 46.4 million de baril soit les plus grandes d'Afrique. Ce pays occupe une position ultrasensible sur le marché des hydrocarbures, sans oublier son brut qui est d'excellente qualité ou ses gisements sont proches des centres de raffinages Européens d'ailleurs les plus important du monde.

Force est de constater que dans cette guerre, bien que le recours à la force ait effectivement été autorisé par le conseil de sécurité de l'ONU, sous la résolution 1973 n'a été qu'un prétexte d'où l'agenda caché était de renverser le régime de Kadhafi, par ce qu'il était devenu une menace pour des intérêts occidentaux.

Ce qui porte à comprendre que, cette guerre n'avait rien avec la protection des civils prônée par l'occident, mais elle était dirigée d'abord contre le guide libyen en la personne de Kadhafi et aussi contre la chine pour enfin contrôler son approvisionnement en pétrole et en gaz.

MOTS-CLEFS: Pétrole, Afrique, Lybie, OTAN.

1 INTRODUCTION

Le pétrole est l'activité commerciale la plus importante du monde, simplement parce que les relations internationales à l'ère de la mondialisation sont influencées par l'économie pétrolière.

La demande du pétrole s'accroît par les Etats-Unis où l'extraction est de plus en plus coûteuse vers les années 1970. Ainsi la préférence des Etats-Unis était de s'approvisionner à un Moyen orient à un prix très bas. Ceci pousse la dévaluation du dollar dont les pays exportateurs s'estiment exploités. Il a fallu attendre la fin de la convertibilité du dollar en or pour déclencher une hausse du prix du pétrole en 1971. En même temps, les pays membres de l'OPEP (organisation des pays exportateurs du pétrole) affirment leur souveraineté sur leurs ressources pétrolières en tenant un discours radical de la prise de participation progressive

A cet effet, les relations se durcissent pendant la guerre de kippour (1973), les pays arabes décident d'utiliser par la simple solidarité 'arme du pétrole en prenant quelque mesure en autre : la réduction du volume des exportations, l'embargo total contre plusieurs pays occidentaux dont les premiers victimes sont les Etats-Unis, l'ajustement du prix du brut suivi de la prise du contrôle d'au moins 51% de concession non encore nationalisé. Par ailleurs celle-ci semant la confusion dans le camp occidental¹.

En effet la réaction des Etats-Unis sans plus tarder est celle de se passer du pétrole OPEP cap vers l'offensive et suscitent la création de l'A.I.E.A (Agence internationale de l'énergie atomique) en revanche notons que les principales victimes de la hausse sont les pays en développement qui s'attendent au prêt de la communauté internationale. Ce qui occasionne la conflictualité telle que le terrorisme extraterritorial.

Ce faisant, depuis la fin de la guerre froide; la tension ne sont pas écarté, mais elle prennent d'autre forme toute en faisant apparaître de nouveau conflit notamment l'intervention militaire des Etats-Unis en 2003 en Irak à la base, le contrôle des ressources pétrolières du pays, trois ans après (2006) une guerre entre la Russie, l'Ukraine, la Géorgie, le nationalisme pétrolier de certain gouvernement d'Amérique latine, la liste n'étant pas exhaustive, nous citons Venezuela, Bolivie, la guerre de Darfour, la diplomatie offensive de la chine visant la sécurisation des approvisionnements énergétiques de l'Europe.

Il convient de souligner que le problème pétrolier continue à être à l'ordre du jour au sein de la société internationale et ne se limitent pas seulement à des abonnées technologiques ou économiques mais aussi aux dimensions politiques. Ce qui revient à dire que le pétrole contribue à déterminer la hiérarchie de la puissance des états. Nous estimons qu'il sert à faire la guerre c'est-à-dire il est source de certains conflits du monde.

Aujourd'hui, il est moins indispensable à la stabilité des relations par le simple fait que le pétrole et le gaz sont plus que jamais au cœur de toutes les tensions et rivalités stratégiques internationales tel est le cas de la guerre en Lybie ou l'intervention de l'Otan étaient derrière le pétrole et le gaz.

Cherchant à connaître d'avantage les motivations de l'Otan en Lybie, nous nous sommes intéressé au pétrole et avons circonscrit notre autre étude en ces termes « pétrole et relations : regard sur les en jeu de l'Otan dans la guerre » la Lybie est un pays convoité, de son pétrole qui est si une grande richesse avec ses réserves estimées en 44 et 46.4 million de baril soit les plus grande d'Afrique. Ce pays occupe une position ultrasensible sur le marché des hydrocarbures, sans oublier son brut qui est d'excellente qualité ou ses gisements sont proches des centres de raffinages Européens d'ailleurs les plus important du monde.

Il sied de signaler que ce pays est indépendant et souverain depuis 1951, force est de constater qu'il a subi une intervention militaire du type néocolonialiste et impérialiste de la part de l'occident par le billet de l'Otan suite à une révolution du peuple contre le régime de Kadhafi, alors ce dernier était considéré comme défenseur du pays contre les attaques néocolonialistes et impérialistes. Ceci dit l'histoire Libyenne s'était assombri le 17 février 2011 et le leader de ce pays trouva sa mort.

En rapport avec les événements sanglant de la guerre Libyenne, notre préoccupation majeure se résume en une question celle de savoir pourquoi l'Otan s'est-elle appropriée la dite guerre ?

Eu égard à l'intervention de l'Otan en Lybie, nous estimons qu'il aurait un agenda caché notamment celui de l'exploitation du pétrole Libyen au raison occultes d'une révolution « 1973 » de l'ONU pour la protection des civils, anticipativement, nous osons croire qu'avec la montée de la chine sur l'échiquier internationale dans tous les domaines et sa présence imminente dans

¹ Edmond JAUVE, Relations internationales du tiers monde, éd. Berger-levraut, Paris, 1976 PP 353-355

presque toute l'Afrique, précisément en Lybie en pécherait l'occident en général, particulièrement les Etats-Unis dont leur volonté serait d'encercler les ressources énergétiques et les matières premières de l'Afrique du Nord qu'exploite la chine.

Également, nous estimons que parmi les causes, figurent aussi les ambitions qu'avait Kadhafi pour l'Afrique celle de la création d'un nouveau système bancaire purement Africain, lequel devait détrôner les institutions de Brootens woods (la FMI, la B.M,...) de la signalisation du développement de la Lybie avec la chine et la Russie plutôt qu'avec l'occident.

En effet, cette étude nous permettra d'exploitation de la politique internationale ou la théorie de la puissance. Selon cette dernière, il existe une hypothèse généralement admise en relations internationales, que c'est la puissance qui détermine la place et le rôle d'un acteur dans un système international.

Depuis le temps immémoriaux les états cherchent les moyens économiques, financiers et territoriaux pour accéder à la puis, ceci dit, la puissance peut être comme une action par laquelle un état cherche à s'imposer d'autres états par l'accomplissement d'objectifs autres que sa propre survie.

En somme, notre démarche sera guidée par une approche méthodologique dénommée systémique qui sert à étudier le fait social en tant que totalité structurelle.

En outre, cette méthode tient compte des rôles que chaque élément joue un rôle dans un système, leurs relations et leurs fonctionnements.

Par ailleurs, la guerre libyenne tire les origines dans le printemps arabe un vent qui a soufflé presque dans tous les états du Maghreb arabe qui forment un système dit union du Maghreb arabe.

Enfin, pour parvenir à la récolte des données fiables, la technique documentaire nous a été utile dans le but de confronter différents documents pour en appréhender et analyser les enjeux de l'intervention de l'OTAN dans la guerre libyenne.

2 LES CAUSES DE LA REVOLUTION LIBYENNE

Les causes de la dite révolution recouvrent deux aspects :

2.1 L'ASPECT EXTERNE DE LA REVOLUTION LIBYENNE

Dans ce travail, nous considérons l'Afrique maghrébine comme un système au sein duquel un vent violent dénommé printemps arabe a secoué presque tous les états de l'union du Maghreb arabe. Il convient de souligner que tout a commencé en tunisien dont les révoltes ont été menées au début de l'année 2011 par la jeune population tunisienne qui voulait se libérer de son président BEN ALLI. L'Egypte aussi a passé par cette série de révolutions.

Les raisons de révoltes tunisiennes sont similaires à celles de la Libye, que nous allons décrire dans les lignes suivantes.

2.2 L'ASPECT INTERNE DE LA REVOLUTION LIBYENNE

Cette révolution libyenne était marquée par le taux de chômage très élevé d'environ 30% depuis une trentaine d'années. Par ailleurs le taux est le plus élevé de tous les pays maghrébins. Alors que la population est jeune et bien éduquée. Indiquons tout de même que la conséquence de ce chômage est la pauvreté.

En outre l'industrie pétrolière qui représente 90% de l'économie libyenne, n'occupe que 1% de la population. Des nombreuses entreprises ont été nationalisées depuis que Kadhafi est au pouvoir. Lui et ses enfants gardaient l'essentiel du profit des entreprises.

En 2008, Kadhafi avait promis de verser 3500 euros à chaque famille, mais une promesse irréalisable jusqu'à sa mort. Kadhafi et ses enfants ont régné sur tous les secteurs au détriment des libyens, la frustration et le mécontentement des libyens ont été accentués parce qu'ils étaient opprimés. Ajoutons aussi qu'il n'y avait qu'un seul parti politique.

3 DE L'INTERVENTION DE L'OTAN DANS LA GUERRE LIBYENNE

Au nom du droit de la protection des civils, la Libye a subi une intervention militaire de la part de l'occident par le biais de l'OTAN.

Ceci étant « l'action d'ingérence humanitaire en temps de guerre implique à la fois des décisions quotidiennes et la prise de compte d'enjeux de fond »² En tenant compte de la situation deux enjeux sont importants notamment la souveraineté de l'Etat qui est la cible d'une intervention, enfin les droits de tiers qui ne participent pas au combat, mais qui en sont victimes.

Se pencher sur l'intervention de l'Otan, ne signifie pas que nous avons proféré le statu quo à la place de la promotion des valeurs universelles telles que la dignité et la liberté auxquelles aspirent les peuples libyens. Mais, il sied de signaler que notre inquiétude est sur la façon que les grandes puissances manipulent et violent massivement le droit international au détriment de leurs intérêts. Voir le non-respect du protocole d'intervention mis en place par l'union africaine.

A cet effet, la question d'intervention suscite quelques inquiétudes : primo celle de savoir si réellement les civils ont été protégés pendant l'intervention ? Secundo, les civils pro-Kadhafi ne méritent pas cette protection ?

Pour une raison de clarté et avant d'évoquer ce qui, vraisemblablement, pourrait constituer les raisons occultes de cette intervention, faisons appel de la notion du droit d'ingérence humanitaire.

Ce droit à une idée selon laquelle en cas de violation massive des droits de personne par un Etat sur ses propres citoyens, d'autres Etats ont l'obligation morale, de fournir une assistance aux victimes en invoquant ledit droit.

Un bon nombre d'auteurs n'a pas manqué de blâmer avec dureté ou de préciser les garde-fous qu'il fallait mettre une telle action de pour qu'elle n'entre en collision avec d'autres règles du droit international. Tel est le cas de Ziegler qui pense qu'aujourd'hui les états puissants renoncent graduellement aux instruments classiques de leur politique étrangère pour privilégier dans les régions des crises leurs intérêts au nom de l'intervention humanitaire³

Ainsi entendu, il existerait en droit légitime, une responsabilité politique d'intervention dans un Etat, au besoin par la force, pour prévenir ou mettre un terme à des violations du droit humanitaire sans le consentement de cet Etat, mais avec l'autorisation du conseil de sécurité pour ce qui est de la Lybie, l'intervention de l'Otan est légale par la résolution 1973 du conseil de sécurité de l'ONU mais là où le bât blesse ce que l'octant n'a pas veuilles à sa mission au détriment de son agenda caché notamment la déstabilisation du régime de KADHAFI pour une meilleure exploitation du pétrole.

Il n'est pas possible d'attendre pour sauver un homme d'avoir la solution pour les sauver tous écrit Bernard KOUCHENER⁴ alors que, l'ampleur de la situation de la Lybie n'était pas aussi grave pour une intervention militaire car une feuille de route était prête à l'union africaine pour la sortie de la crise. La logique dialectique intervient dans ce travail en contradiction avec la résolution 1973 du conseil de sécurité de l'ONU et l'intervention de l'octant sur le terrain.

L'ironie du sort est que l'organe censé protéger les civiles a fait de raids aérien en soutenant les rebelles comme conséquence de millier de civiles ont trouvé la mort avant d'éclairer nos lecteur sur les raisons occulte de l'intervention de l'Otan en Lybie, il s'avère important de maîtriser la chronologie des évènements de la guerre. Signalons tous a commencé Benghazi par l'arrestation d'un militant de droit de l'homme nonobstant sa libération, les manifestants continue de marcher jusqu'à la moitié de la nuit. En même temps d'autre manifestation éclate dans la ville côtière d'El-Beida qui font provoquer deux morts. En réaction l'opposition appelle à un jour de colère, le 17 février contre le gouvernement de KADHAFI mais ce dernier mobilise ses partisans à tripoli et répond la force aux insurgés. Les affrontements éclatent à BEGAZIE, l'insurrection s'étant rapidement dans plusieurs villes importantes.

Le 26 février, le conseil de sécurité de l'ONU impose l'embargo sur la vente d'arme et matériel connexe à la Lybie suivie de l'interdiction des voyages sur le sol des Etats membres de la dite organisation des dignitaires du régime de KADHAFI y compris lui-même, l'union africaine établi pour sa part un embargo sur les ventes d'arme légère des avoir des dignitaires le 28 février, samedi 05 mars ; le conseil national de transition est mis en place, 5 jours plus tard c'est-à-dire le 10 mars, la France reconnaît le conseil national de transition Libyenne, selon l'esprit de la résolution 1973, deux jours après donc le 19 mars, les Etats-Unis, la France et le royaume unis lance de raids aérien pour stopper la répression de la révolte, en fait KADHAFI accepte un plan de médiation de l'union africaine pour la sortie de la crise mais ce plan sera étouffer par l'intervention de l'Otan militairement.

² KREMER, Pierre. L'humanité à l'épreuve de sens, in communication humanitaire, Fontenay sous BOIS, décembre 1994, n°2

³ ZIEGLER, Jean, le mensonge de l'état humanitaire », in nord-sud, XXI, Genève, 1943, N°4

⁴ KOUCHENER Bernard, « sauver les corps », in les cahiers de l'express, Genève, 1993, N°20

4 LES JEUX POLITIQUES DE L'INTERVENTION DE L'OTAN EN LYBIE

L'intervention politique et militaire de l'Otan en Lybie est liée à l'exploitation du pétrole et la déstabilisation de la position stratégique de la Lybie enfin au contrôle des ressources pour qu'une autre puissance émergente comme la chine ne puisse pas y accéder facilement.

Il sied de comprendre que les frappes qu'a connues la Lybie au court de l'année 2011 relevé de la décision politique d'une poignée de puissance occidentale. Les Etats-Unis, la France et l'Angleterre prennent le risque de déstabiliser le monde tout instrumentalisant et soutenant les rebelles pour des raisons liées au contrôle du pétrole moyen orient.

Cette intervention fait partie d'un plus vaste plan stratégique de l'Otan et du pentagone en particulier pour contrer au programme de la chine, celui de sa dépendance stratégique en volumes d'importations du pétrole brut et de gaz. Car la chine se relève en second pays importateur du pétrole dans le monde et c'est derrière les états unis.

En effet, les attentats du 11 septembre 2001 aux états unis se sont tournés vers une autre guerre contre les chinois en qui, ils voient un ennemi potentiel. Ceci dit la chine a souvent été présentée comme l'ennemi économique numéro un des états unis. La raison est telle que, son entrée au sein de l'organisation mondiale du commerce en 2001 ce coïncide avec un effrontement de la part du marché mondial des produits américains, que la baisse du dollar n'a pas réussi à atténuer.

Signalons que la présence de la chine en Afrique se révèle comme une opportunité de développement pour les africains tenus par des prédateurs occidentaux. C'est ce qui provoque une panoplie de guerre politiques, effusions de sang, une non conventionnelle et celle sans limite entre les états unis et la chine.

Pour marquer leur présence en Afrique et aussi dans le monde, les chinois les moyens dans tous les domaines. Quant aux américains, les efforts sont possibles pour contrôler l'approvisionnement énergétique de la chine du pétrole et des matières premières. L'implication des compagnies énergétiques et d'importation des matières premières à travers le continent africain par la chine est devenue cause majeure pour les états unis

Tel est le cas du contrat signé en octobre 2007 entre le gouvernement tchadien et le géant du pétrole d'état chinois (chinois petroleum company) en sigle CNC, pour construire une raffinerie de pétrole ; le soudan, une source importante de pétrole du début des années 1990 après que, cherchons eut abandonné des options au début de l'année 2011, le pétrole soudanais, provenance de la zone de conflit du sud couvrait environ 10% des imports pétroliers de la chine.

Ainsi, contrôler le sud soudan, le Tchad en passant par le Cameroun est la stratégie du pentagone (états unis d'Amérique) pour le refus stratégique à la chine de ses futurs approvisionnements en pétrole. La séparation quasi simultanée du sud soudan avec le soudan et le rendement du régime de Kadhafi est la priorité stratégique pour le plan de domination du pentagone⁵

Enfin, deux faits sont à souligner ; primo, Kadhafi désirait porter la participation de l'état libyen dans le pétrole de 30% à 50% ; secundo, il avait menacé de remplacer les firmes occidentales ayant quitté la Libye par les sociétés chinois, russes et indiennes. Est-ce une coïncidence ?

5 ENJEUX ECONOMIQUES DE L'INDEPENDENCE DE L'OTAN EN LIBYE

L'assurance de la couverture universelle du continent africain pour la téléphonie ; la radiodiffusion, la télémédecine à la distance, la connexion pour la première fois à bas cout disponible sur le continent, voir même dans les zones rurales cela grâce au système par pont radio WMAX. Telle est la révolution des temps modernes offerte par la Libye sous le leadership de Kadhafi.

Le tarif le plus cher dans la téléphonie au monde est celui de l'Europe vers l'Afrique avec un impôt de 500 millions de dollars que l'Europe encaissait par an sur les conversations même à l'intérieur des pays africains. Pour mettre fin à cet exploitation 45 pays africains créent une société dénommée RASCOM dans le but de disposer d'un satellite africain pour chuter les couts de communication sur l'ensemble du continent.

Pendant 14 ans, la banque mondiale, le FMI, les USA et l'UE ont fait miroiter inutilement les africains. C'est en 2006 que Kadhafi mettra fin à la mendicité de ces pays auprès des occidentaux pratiquant des prêts à un taux usuraires. Ainsi Kadhafi avait mis 300 millions de dollars, la banque africaine de développement 50 millions, la banque ouest africaine de

⁵ ENGDAHL William, la guerre de l'Otan contre la Libye est dirigée contre la chine, 29 septembre 2011.

développement 27 millions sans oublier la technologie chinoise et russe, pour que l'Afrique soit dotée d'un satellite de communication.

Il convient de signaler que toutes ses contributions, la Libye a fait perdre à l'occident, non seulement 50 millions de dollars par an, mais aussi les milliards de dollars de dettes et d'intérêts qui servaient au système occulte pour dépouiller l'Afrique.

Kadhafi était sur le point de créer un nouveau système bancaire en Afrique, lequel allait concurrencer les institutions de BROOTEN WORDS (le fond monétaire international, la banque mondiale...et autres business associées qui voulaient freiner les économies africaines).

Ceci, étant trois projets phares étaient mis sur pied notamment la création de la banque africaine d'investissement à Syrte en Libye, le fond monétaire africain comme siège Yaoundé capitale camerounaise en 2011 avec un capital de 42 milliards de dollars américains, la banque centrale africaine à Abuja au Nigeria.

A ce projet, la Libye à elle seule décaissa 30 milliards de dollars américains pour la finalisation. Malheureusement, cette somme sera vite saisie par l'occident.

Ainsi, nous pouvons comprendre des lors la rage de Paris contre Kadhafi.

Enfin, l'intervention de l'OTAN en Libye était de l'impérialisme humanitaire voilé sous la casquette de la protection des civils dans le but de chasser ou renverser un gouvernement d'un chef d'état qui était gérant au contrôle et pillage des ressources africaines par les occidentaux⁶

6 CONCLUSION

Au terme de ce travail dont l'intitulé est « **l'impact du pétrole dans les relations nord sud** » **cas de l'intervention de l'OTAN en Libye**, la préoccupation majeure a été l'identification des enjeux profonds de l'intervention de l'OTAN dans la guerre de Kadhafi et le conseil national de transition (CNT) en sigle. Ceci à l'occasion du printemps qui a secoué le Maghreb en 2010.

Notre travail s'est articulé autour de trois parties ; le pétrole comme enjeu des relations internationales en évoquant les causes de la révolution libyenne, pour chuter à la question épineuse de l'intervention de l'OTAN dans la guerre libyenne.

Il sied de noter que dans cette guerre, bien que le recours à la force ait effectivement été autorisé par le conseil de sécurité de l'ONU, la résolution 1973 n'a été qu'un prétexte d'où l'agenda caché était de renverser au mieux de faire tomber le régime de Kadhafi, par ce qu'il était devenu une menace pour des intérêts occidentaux.

Ce qui porte à comprendre que, cette guerre n'avait rien avec la protection des civils prônée par l'occident, mais elle était dirigée d'abord contre le guide libyen en la personne de Kadhafi en la personne de Kadhafi et aussi contre la Chine pour enfin contrôler son approvisionnement en pétrole et en gaz.

Ainsi entendu, il existerait un droit légitime, voire même une responsabilité politique d'intervention dans un état au besoin par l'usage de la force dans le but de prévenir ou de mettre fin à des violations graves du droit international humanitaire sans le consentement de l'état concerné.

S'agissait de la responsabilité de protéger, lorsqu'une population souffre gravement des conséquences d'une guerre civile, d'une répression exercée par son état, ou lorsque cet état n'est pas en mesure de mettre de un terme à des exactions ou à les éviter, la communauté internationale aurait la responsabilité subsidiaire d'intervenir dans cet état pour fournir la protection et aide aux populations menacées. Force est de constater que, tel n'a pas été le cas de l'intervention de l'OTAN dans la guerre libyenne.

En effet, l'Afrique doit écrire à nouveau une nouvelle page glorieuse de son histoire pour les générations avenir des chefs unificateurs et panafricains, parce que les africains continuent d'être traités avec mépris. Ceci étant, l'imposition des accords dits de partenariat économique qui hypothéqueraient l'ambition de ce continent et aussi d'être exclu dans les prises des décisions.

⁶ COLLIER ? P, 1983, Oil and inequality in rural Nigeria, dans l'ouvrage publié sous la direction de Ghai et Radwan, pp 197-217.

Dans le combat pour inverser cette tendance, il est plus que temps chaque africain soit persuadé qu'il ne dispose pas d'armes plus efficace et plus libératrices que le recours à son histoire. C'est aux africains et à eux seuls qu'il incombe la responsabilité de porter la hache de guerre.

Quant à l'ONU et l'OTAN au lieu qu'elles unissent le monde entier pour faire face à des nombreux défis qui constituent climatiquement et les crises internationales ; le terrorisme tant national qu'international et la piraterie, les épidémies naturelles et celles causées par l'homme, ainsi que la prolifération des armes nucléaires, mais l'ONU et l'OTAN se relèvent comme des instruments pour protéger les intérêts des forts, autrement dit ceux des puissants.

REFERENCES

- [1] COLLIER ? P, 1983, Oil and inequality in rural Nigeria, dans l'ouvrage publié sous la direction de Ghai et Radwan, pp 197-217.
- [2] EDMOND Jauve, Relations internationales du tiers monde, éd. Berger-levrault, Paris, 1976, PP 353-355.
- [3] ENGBAHL William, la guerre de l'Otan contre la Libye est dirigée contre la chine, 29 septembre 2011.
- [4] KOUCHENER Bernard, « sauver les corps », in les cahiers de l'express, Genève, 1993, N°20.
- [5] KREMER, Pierre. L'humanité à l'épreuve de sens, in communication humanitaire, Fontenay sous BOIS, décembre 1994, n°2.
- [6] ZIEGLER, Jean, le mensonge de l'état humanitaire », in nord-sud, XXI, Genève, 1943, N°4.

Intérêt de l'imagerie dans le diagnostic précoce d'un colobome chorio-rétinien unilatéral

[Interest of imaging in the early diagnosis of unilateral chorio-retinal coloboma]

Fatima El Ibrahimi, Merieme Oudbib, Tahar Baddou, Zakariae Jebbar, Aouatif Masmoudi, Amine Kouisbahi, Bahia Ouazzanie, and Amina Berraho

Service d'ophtalmologie B, Hôpital des spécialités, CHU Rabat 6220, Quartier Souissi 6220 Rabat, Maroc

Copyright © 2018 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: Ocular coloboma is a congenital malformation occurring around the sixth week of embryonic life. It is due to an abnormality of development of the lens, iris, choroid or retina due to lack of closure of the embryonic cleft. The involvement is variable ranging from a simple irian notch to the absence of retinal tissue on much of the lower retina. It can also include the disc. It is often bilateral and associated with microphthalmia.

We report the case of unilateral chorioretinal coloboma associated with microphthalmia diagnosed early with imaging.

KEYWORDS: Chorio-retinal coloboma.

RÉSUMÉ: Le colobome oculaire est une malformation congénitale survenant vers la sixième semaine de la vie embryonnaire. Elle est due à une anomalie de développement du cristallin, de l'iris, de la choroïde ou de la rétine par un défaut de fermeture de la fente embryonnaire. L'atteinte est variable allant d'une simple encoche irienne inférieure à l'absence de tissu rétinien sur une bonne partie de la rétine inférieure. Elle peut également englober la papille. Elle est souvent bilatérale et associée à une microphthalmie.

Nous rapportons le cas d'un colobome chorio-rétinien unilatéral associé à une microphthalmie diagnostiqué précocement à l'aide de l'imagerie.

MOTS-CLEFS: Colobome chorio-rétinien.

1 INTRODUCTION

Les colobomes oculaires congénitaux sont dus à un défaut de fermeture de la fissure fœtale lors de l'organogénèse [1]. L'atteinte oculaire qui en résulte est très variable allant d'une petite fente irienne inférieure à une atteinte sévère du nerf optique avec absence de tissu rétinien en inférieur sur une large partie du pôle postérieur. Le diagnostic clinique du colobome chorio-rétinien est simple lorsqu'il est associé à une atteinte du segment antérieur. Cependant, il peut être difficile s'il est isolé surtout chez le petit enfant ou la découverte d'une lésion blanchâtre du fond d'œil fait évoquer pas mal d'atteintes rétiniennes d'origine divers (tumorales, infectieuses, génétiques...)

2 OBSERVATION

Nous rapportons le cas d'un nourrisson de sexe féminin, âgé de 3 mois, amené par ses parents pour une asymétrie de la taille des deux yeux constatée par la famille dès la naissance.

L'examen ophtalmologique trouve une gêne à l'occlusion de l'œil gauche, une microphthalmie de l'œil droit, avec des annexes normales, un segment antérieur sans anomalie, et un fond d'œil caractérisé par la présence d'une lésion blanchâtre de grande taille, bien limitée, prenant presque la totalité de l'hémi-rétine inférieure et englobant la papille optique. L'examen de l'œil gauche était strictement normal. Devant cet aspect clinique le diagnostic de rétinoblastome a été évoqué.

L'échographie oculaire de l'OD (**figure 1**) a montré une microphthalmie à 16,54 mm avec une ectasie inféro-nasale de la paroi oculaire.



Fig. 1. *Echographie oculaire de l'OD : Microphthalmie et ectasie de la paroi postérieure*

La TDM orbitaire (**figure 2**) trouve un défaut focal postéro-interne de la paroi du globe oculaire droit avec une hernie du vitré. Sur les coupes frontales, cette lésion est de localisation inféro-nasale (**figure 3**).



Fig. 2. *TDM orbitaire coupe axiale : défaut focal postéro-médial de la paroi du globe oculaire droit avec une hernie du vitré*

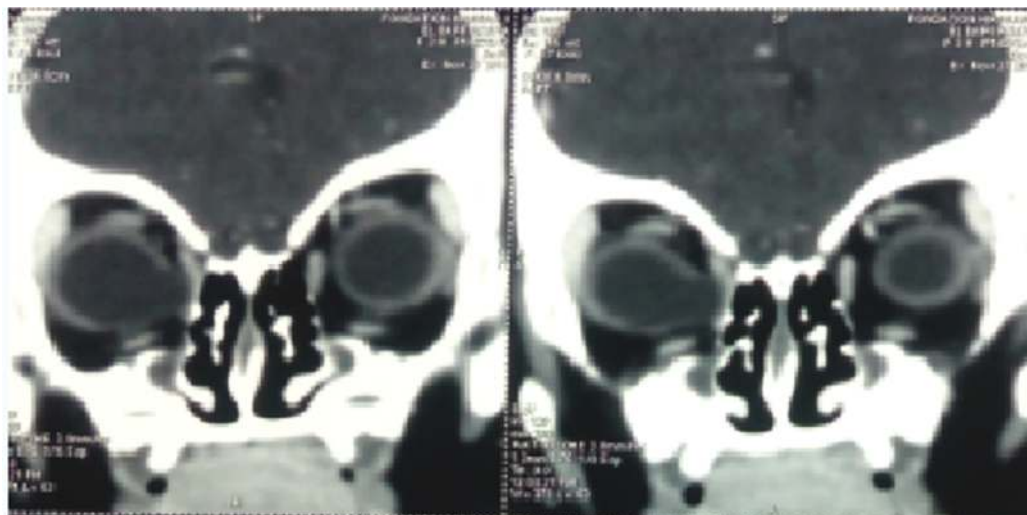


Fig. 3. TDM orbitaire coupe frontale : défaut focal inféro-médial de la paroi du globe oculaire droit.

3 DISCUSSION

La définition de Van Duyse résume cette anomalie oculaire congénitale : "La dénomination de colobome congénital s'applique aux malformations de certaines parties de l'œil. Leur configuration, leur siège, donnent un aspect caractéristique à ces anomalies. Ce sont des fentes (iris), des lacunes (chorio-rétine), le tissu normal étant absent, aplasique ou remplacé par du tissu connectif; ce sont des modifications de forme (nerf optique) relevant, pour toutes ces anomalies d'un processus pathologique au cours de la vie intra-utérine. Ces malformations siègent d'ordinaire dans le méridien répondant au niveau de la fente fœtale, soit directement en bas, ou dans un méridien un peu plus interne (colobomes typiques, le cas de notre patiente). Elles peuvent être localisées en d'autres méridiens quelconques (colobomes atypiques)."[2]

Ces anomalies sont des malformations congénitales de l'œil secondaires à une anomalie de fermeture de la fente fœtale. Toutes les structures de l'œil peuvent être touchées. Ainsi on peut trouver des fentes qui siègent sur les paupières, la cornée, l'iris, la zonule et le cristallin, le corps ciliaire, la choroïde, la rétine et le nerf optique [3]. Elles peuvent s'associer à d'autres malformations oculaires comme la cataracte, la microphthalmie ou l'ectopie cristallinienne. En outre, ces atteintes indiquent la présence d'anomalies des gènes inducteurs des grands processus de développement embryonnaire expliquant la nécessité d'un bilan systémique à la recherche d'anomalies extra-oculaires au niveau ORL, cardiaque, rénal et cérébral[4].

Les colobomes chorio-rétiniens sont des colobomes graves car responsables d'une mauvaise vision. Nous avons vu que la fermeture de la fente s'effectuait à la 6ème semaine, date à laquelle les cellules du neuro-épithélium rétinien recouvrent l'intérieur de l'œil. Cette couche (layer) s'applique sur le feuillet externe rétinien qui constitue l'épithélium pigmenté rétinien. L'absence d'accolement va donner un colobome [5]. La choroïde ne pourra pas se différencier normalement si elle ne trouve pas de feuillet pigmenté rétinien. Apparaît alors une zone sans rétine ni choroïde fonctionnelle. La sclère blanche sera alors apparente dans cette zone dépourvue de choroïde et de rétine [6]. Parfois on peut observer une rétine non différenciée dans cette zone, éventuellement vascularisée. La sclère de cette zone peut être malformée et donner une protrusion postérieure, un staphylome plus ou moins étendu [7] comme dans notre cas. Il peut se compliquer d'un décollement de rétine [8].

L'aspect de ces colobomes chorio-rétiens est protéiforme, car des zones de rétine saine peuvent persister entre les zones d'atrophie chorio-rétinienne. On découvre ce fond d'œil anormal quand on examine un enfant qui a un colobome irien ou bien si on a été alerté par un reflet blanchâtre du fond d'œil (leucocorie). En principe, comme dans le cas présenté, la localisation est inféro-nasale. Si la lésion est limitée ou bien isolée, il se peut que le diagnostic ne soit fait que très tardivement ou pas du tout.

L'imagerie est demandée en cas de doute diagnostique surtout chez le petit enfant. L'échographie oculaire objective un défaut localisé de la paroi postérieure et recherche l'existence d'anomalies oculaires associées (cataracte) ou de complication (décollement de rétine). La tomodensitométrie et l'imagerie par résonance magnétique montre une lésion ectasique focale postéro-inféro-nasale de la paroi du globe oculaire avec un contenu liquidien strict (hypo-signal T1, hypersignal T2 à l'IRM ; hypodense à la TDM). Elles permettent également de rechercher d'autres anomalies associées orbitaires, cérébrales et ORL et éliminer les autres diagnostics différentiels.

4 CONCLUSION

Le colobome chorio-rétinien est malformation congénitale pouvant être grave et responsable d'une baisse profonde de la vision. Il pose le problème de diagnostic différentiel avec plusieurs pathologies chez le petite enfant d'où l'intérêt de la réalisation d'examen para-cliniques.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

- [1] Onwochei B., Simon J.W., Bateman J.B., Couture K.C., Mir E. Ocular Colobomata *Surv Ophthalmol* 2000 ; 45 : 175-194.
- [2] Ascaso FJ, Del Buey MA, Huerva V, Latre B, Palomar A. Noonan's syndrome with keratoconus and optic disc coloboma. *Eur J Ophthalmol*. 1993 Apr-Jun;3(2):101-3.
- [3] Calvas P., Dufier J.L. Anomalies du développement de l'œil Œil et génétique. Rapport de la SFO 2005 Paris: Masson édition (2005). 63-74
- [4] D.Denis et al, Ocular coloboma and results of brain MRI: Preliminary results, *Journal Français d'Ophtalmologie* Volume 36, n° 3 pages 210-220 (mars 2013).
- [5] Sanyanusin P, McNoe LA, Sullivan MJ, Weaver RG, Eccles MR. OMIM Mutation of PAX2 in two siblings with renal-coloboma syndrome. *Hum Mol Genet*. 1995 Nov;4(11):2183-4. No abstract available.
- [6] Gregory-Evans C.Y., Williams M.J., Halford S., Gregory-Evans K. Ocular coloboma: a reassessment in the age of molecular neuroscience *J Med Genet* 2004 ; 41 : 881-891 [cross-ref]
- [7] Theodossiadis GP, Damanakis AG, Theodossiadis PG. Coloboma of the optic disk associated with retinal vascular abnormalities. *Am J Ophthalmol*. 1995 Dec;120(6):798-800.
- [8] K.Essalime et al, Retinal detachment in retinal coloboma: a case report *Journal Français d'Ophtalmologie* Volume 31, Supplement 1, April 2008, Page 172.

OEDEME VULVAIRE MASSIF ET GROSSESSE : A PROPOS DE DEUX CAS

M. HOUSSA, M. ACHBBAK, K. FICHTALI, M. BENHASSOU, and S. BOUHYA

Maternité EL HARROUCHI, CHU Ibn Rochd, Casablanca, Maroc

Copyright © 2018 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: Gestational massive vulvar edema is a formidable complication of pre-eclampsia, its clinical diagnosis is very evident in the more severe forms with a good evolution after symptomatic treatment, bringing us two observations collected in the maternity el HARROUCHI of CHU Casablanca MOROCCO during the period 2017-2018. Thus this phenomenon is explained by a review of the literature and the principal therapeutic behaviors carried out will be ascertained.

KEYWORDS: vulvar edema, pregnancy, diagnosis.

RESUME: Œdème vulvaire massif gestationnel est une complication redoutable de la pré-éclampsie, son diagnostic clinique est très évident dans les formes plus sévère avec une bonne évolution après traitement symptomatique, nous rapportant deux observations colligées dans la maternité el HARROUCHI de CHU de Casablanca MAROC durant la période de 2017-2018. Ainsi on explique ce phénomène par une revue de la littérature et on montera les principales conduites thérapeutiques réalisées.

MOTS-CLEFS: œdème vulvaire, grossesse, diagnostic.

1 INTRODUCTION

L'œdème vulvaire massif chez la femme enceinte est rare, mais requiert une attention particulière car il peut se greffer de complications maternelles et fœtales. Nous rapportons deux cas d'œdème massif vulvaire chez des femmes enceintes avec une revue des diagnostics différentiels, des étiologies, des complications potentielles et des options thérapeutiques.

2 OBSERVATIONS

OBSERVATION 1

Parturiente de 23 ans, primipare, sans antécédent pathologique particulier, admise pour pré-éclampsie sévère sur grossesse non évolutive de 33 semaines d'aménorrhée en dehors du travail, avec un œdème vulvaire massif d'installation brutale. La patiente était apyrétique et elle n'avait aucun antécédent de traumatisme, d'infection ou de prise médicamenteuse.

L'examen à l'admission, avait trouvé des chiffres tensionnels élevés à 17/10 cm/Hg, une protéinurie à trois croix aux bandelettes réactives. L'examen de la vulve avait trouvé un gonflement œdémateux des grandes et petites lèvres s'étendant au pubis (**figure 1**). Au toucher vaginal, un col fermé long postérieur et une poche des eaux intacte avec saignement minimes, au palper abdominal trouve un utérus tendu, à l'échographie obstétricale pas d'activité cardiaque décelable. Il n'y avait pas de lymphadénopathies régionales, varicosités ou de signes de thrombose veineuse profonde. Le reste de l'examen somatique était sans particularités.

Une césarienne pour suspicion d'hématome rétro placentaire a été indiquée, laquelle a permis l'extraction d'un mort fœtal de sexe masculin, 2050 g, avec à l'exploration un HRP décollant tout le placenta.

Le bilan biologique réalisé à l'admission avait montré une cytolyse avec ASAT à 83 UI /L, ALAT à 95UI/L, une hémolyse avec LDH à 523 UI/L associé à une hypoalbuminémie à 19 g/L et une protéinurie de 24h à 3g/24h.

Le diagnostic de l'oedème vulvaire massif a été expliqué par l'hypoprotidémie secondaire à la pré-éclampsie sévère.

La patiente avait bénéficiée d'une transfusion de 3 flacons d'albumine et son apport en protéines alimentaires a été renforcé et des pansements topiques de sulfate de magnésium ont été appliqués sur la vulve.

La mère a normalisé les chiffres tensionnels ainsi que les anomalies biologiques un jour après l'accouchement avec une régression progressive de son œdème vulvaire pour disparaître complètement trois semaines.



Fig. 1. important œdème vulvaire bilatérale

2.1 OBSERVATION 2

Patiente de 30 ans, deuxième geste, porteuse d'un utérus cicatriciel, sans autres antécédents pathologiques particuliers, admise pour une pré-éclampsie sévère sur une grossesse évolutive de 32 semaines d'aménorrhée (SA) avec un important œdème vulvaire d'évolution rapide prédominant à gauche (**Figure 2**). La patiente était apyrétique, sans notion de traumatisme vulvaire, d'infection ou de prise médicamenteuse. L'examen à l'admission, avait montré une tension artérielle à 160/105 mm Hg, une protéinurie à trois croix à la bandelette urinaire. L'examen de la vulve avait montré un œdème vulvaire massif intéressant les petites et les grandes lèvres, prédominant à gauche. Au toucher vaginal, un col dilaté à 1 cm et une poche des eaux rompue avec liquide amniotique Méconial, L'ERCF d'admission a objectivé des décélérations tardives répétitives.

Le reste de l'examen n'avait pas montré de signes de thrombose ni d'adénopathies régionales en dehors d'un œdème des chevilles rétro-malléolaire peu important. Une césarienne pour suspicion de souffrance fœtale aiguë a été indiquée, laquelle a permis l'extraction d'un nouveau-né prématuré de sexe féminin, 2300 g, Apgar 10/10 à la cinquième minute, avec double circulaire du cordon confié au pédiatre. Le bilan biologique à l'admission avait montré une légère anémie hypochrome microcytaire (Hémoglobine à 10,5 g/dl), une thrombopénie à 132000 plaquettes par mm³, un taux de prothrombine et des

transaminases normaux, un bilan infectieux négatif, une hypoprotidémie à 20g/L et une protéinurie de 24h à 3g/24h. L'œdème vulvaire massif est alors expliqué par l'hypoprotidémie secondaire à l'atteinte rénale dans le cadre de la pré-éclampsie sévère.

Le traitement avait consisté en des soins locaux au sulfate de magnésium associés à une augmentation de l'apport journalier en protéines. L'évolution était marquée par la normalisation rapide des chiffres tensionnels et une régression spectaculaire de l'œdème vulvaire, et sa disparition complète en dix jours. Le nouveau-né a quitté le service de néonatalogie à J6 de vie.



Fig. 2. important œdème vulvaire prédominant à gauche

3 DISCUSSION

Un œdème peut être observé chez 80% des femmes enceintes [1], mais l'œdème vulvaire massif isolé est rare pendant la grossesse [2], son association à une pré-éclampsie n'a été rapportée dans la littérature que dans quelques cas. L'œdème vulvaire pendant la grossesse peut être associé à plusieurs pathologies notamment: une pré-éclampsie, des grossesses multiples, un traitement tocolytique, un diabète, une dystocie, une deuxième phase du travail prolongée, comme il peut s'agir d'un œdème vulvaire idiopathique du post-partum. Il peut aussi se rencontrer dans d'autres situations non spécifiques à la grossesse [2-4].

L'apparition d'œdèmes au cours d'une grossesse normale est multifactorielle et implique l'activation du système rénine-angiotensine, l'œstrogène et la compression de la veine cave inférieure par le volume utérin. Dans la pré-éclampsie l'augmentation de la pression capillaire et la diminution de la pression oncotique par hypo-albuminémie ramène l'eau dans le milieu interstitiel [1,3]. La formation de l'œdème massif de la vulve serait dû à sa déclivité en position couchée et à sa richesse en tissu conjonctif lâche avec une mince couche épithéliale [2,3].

Le diagnostic différentiel de l'œdème vulvaire comprend les infections, les tumeurs, les anomalies congénitales lymphatiques, les traumatismes, les maladies inflammatoires et les maladies métaboliques. Fait intéressant, l'œdème vulvaire survenant en postpartum immédiat a été signalé avec des décès maternels dus à un collapsus vasculaire chez six patientes [5].

L'œdème vulvaire massif chez nos patientes est probablement dû à l'hypo-protidémie souvent associée à la pré-éclampsie sévère. Le traitement vise le soulagement de la douleur et l'inconfort et l'éviction des complications locales par l'application topique de pansements enduits de sulfate de magnésium favorisant la diminution de la pression de perfusion veineuse au niveau du tissu aréolaire vulvaire richement vascularisé. Il doit être étiologique chaque fois qu'une cause sous-

jacente est retrouvée. Pour le mode d'accouchement la césarienne peut être nécessaire si l'accouchement est urgent [3]. En dehors du risque potentiel de nécrose tissulaire [3], et des quelques cas exceptionnels de décès maternel associé à l'œdème vulvaire massif du post-partum [2], l'évolution est favorable sous traitement bien conduit.

4 CONCLUSION

L'œdème vulvaire massif est rare pendant la grossesse mais requiert une attention particulière car il peut se greffer de complications maternelles et foetales. Le traitement est symptomatique et étiologique chaque fois qu'une cause sous-jacente est retrouvée et l'évolution est souvent favorable sous traitement bien conduit. Un accouchement par césarienne peut être nécessaire.

REFERENCES

- [1] Davison JM. Edema in pregnancy. *Kidney Int Suppl.* 1997 Jun;59:S90-6.
- [2] Deren O, Bildirici I, Al A. Massive Vulvar edema complicating a diabetic pregnancy. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2000 Dec; 93(2):209-11.
- [3] Hernandez C, Lynn R. Massive antepartum labial edema. *Cutis.* 2010 Sep; 86(3):148-52.
- [4] Vivalis D, Zitzimikas S, Agorastos T, Loufopoulos A, Tsalikis T, Bontis JN. Postparacentesis bilateral massive vulvar edema in a patient with severe ovarian hyperstimulation syndrome. *Fertil Steril.* 2002 Apr;77(4):841-3.
- [5] Finkler NJ, Safon LE, Ryan KJ. Bilateral postpartum vulvar edema associated with maternal death. *Am J Obstet Gynecol* 1987;156:1188—9.

Utilisation des plantes insecticides dans la lutte contre la mouche de haricot commun (Genre: *Ophiomyia*) à l'Est de la République Démocratique du Congo

[Use of insecticide plants in the fight against common bean fly (Genus: *Ophiomyia*) at the East of the Democratic Republic of Congo]

O.C. Koleramungu¹, T.C. Mirindi¹, N. Rudahaba¹, J-L.K. Bahizire², Y.M. Amani², J. Ntamwira¹, B. Bukomarhe¹, E. Mongana¹, B. Tuombemungu¹, Munganga wa Muhwanjo¹, and N. R. Kijana¹

¹Institut National d'Etude et de Recherche Agronomiques de Mulungu (INERA/Mulungu), RD Congo

²Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro (CRSN/Lwiro), Département de Biologie, RD Congo

Copyright © 2018 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: With the aim of finding biodegradable organic substances that are not harmful to humans and that do not pollute the environment, that are effective against the fly and alternatives to synthetic pesticides polluting the environment, a test of the insecticidal activity of *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* and *Tithonia diversifolia* was carried out in the presence of the synthetic pesticides (Thiodan) and the control. Indeed, the results obtained are as follows: During the two cropping seasons, at stages V3-V4 and r6, the variety V2 / Rwr2254 is the most susceptible to attack by the common bean fly; When treated with insecticide plants and the synthetic insecticide, thiodan, we found that there were fewer pupae on common bean plants treated with the insecticide plant *Tephrosia vogelii* and thiodan, followed by the lethal dose (DI 90) of each insecticide plant. For the 2 cropping seasons, the plot yield in gram shows that the variety V1 / HM 21-7 gave the high yield; the plant *Tephrosia vogelii* yielded a high yield and compared to treatments, thiodan provided high yield and The extrapolated yield in kilograms per hectare still shows that the variety V1 / HM21-7 is the one that gave a high yield, the insecticide plant *Tephrosia vogelii* is the one that gave a high yield and the thiodan is the treatment that gave high efficiency. Thus, the use of these insecticidal plants is an alternative for managing the bean fly for improving common bean productivity.

KEYWORDS: Common bean, common bean fly, insecticide plants, variety, treatment, yield.

RESUME: Dans l'objectif de trouver des substances organiques insecticides biodégradables, non nocifs à l'homme et ne polluant pas l'environnement, efficaces contre la mouche et alternatives aux pesticides synthétiques pollueurs de l'environnement, un test de l'activité insecticide des *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* a été réalisé en présence des pesticides de synthèse (Thiodan) et le témoin. En effet, les résultats obtenus sont les suivants: Durant les 2 campagnes culturales, aux stades V3-V4 et r6, la variété V2/Rwr2254 est la plus sensible à l'attaque par la mouche de haricot commun; Lors du traitement par les plantes insecticides et l'insecticide synthétique, thiodan, nous avons constatons qu'il ya moins de pupes sur les plants de haricot commun traités par la plante insecticide *Tephrosia vogelii* et le thiodan, suivi de la dose létale (DI 90) de chaque plante insecticide. Pour les 2 campagnes culturales, le rendement parcellaire en gramme montre que la variété V1/HM 21-7 a donné le rendement élevé; la plante *Tephrosia vogelii* a permis d'obtenir un rendement élevé et par rapport aux traitements, le thiodan a fourni le rendement élevé; Le rendement extrapolé en kilogramme à l'hectare montre toujours que la variété V1/HM21-7 est celle qui a donné un rendement élevé, la plante insecticide *Tephrosia vogelii* est celle qui a donné un rendement élevé et le thiodan est le traitement qui a donné le rendement élevé. Ainsi, l'utilisation de ces plantes insecticides est une alternative pour la gestion de la mouche de haricot pour l'amélioration de la productivité de haricot commun.

MOTS-CLEFS: Haricot commun, mouche de haricot commun, plantes insecticides, variété, traitement, rendement.

1 INTRODUCTION

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est l'une des principales cultures pratiquées à l'est de la République Démocratique du Congo, où il constitue un apport protéique important dans le régime alimentaire de la population de peuple shi et d'autres tribus qui pratiquent cette culture. Sa production représente 95% de la production mondiale [1]; c'est un aliment important et constitue 65% de l'apport protéique dans l'alimentation humaine et 32% de calories avec un apport important en fer et zinc, fibres et glucides [2]. La teneur en lysine des graines de haricots est relativement importante et améliore la qualité alimentaire de céréales [3].

En effet, la production du haricot commun est contrariée par un certain nombre des contraintes dont l'une des principales reste l'attaque par les mouches du genre *Ophiomyia* [1], c'est qui fait qu'il est impossible à une plante de haricot commun de reprendre sa vie lorsqu'elle est endommagée par les attaques des mouches et d'autres pathogènes en pleine culture.

A l'Est de la RD Congo, durant les vingt dernières années, la culture du haricot commun connaît une régression; les pertes de rendement dues aux maladies, insectes, etc sont énormes (95%) et constituent un problème économique grave [4]. Afin de contribuer à la protection des cultures, l'usage des méthodes modernes et naturelles de protection des plantes respectivement à base des pesticides de synthèse et des plantes à effets insecticides sont en vogue depuis longtemps [5], [6] et [7]. Pourtant bon nombre des pesticides synthétiques comme ceux de la famille des organochlorés polluent l'environnement, portent atteinte à la santé de l'homme, ont des effets rémanents [8] et [9]. Cela étant, et compte tenu de l'abondance des plantes à effets insecticides dans la nature [10], [11] et [12], ce dernier temps l'intérêt grandissant est placé dans les plantes à effets insecticides afin de trouver de nouvelles sources potentielles de contrôle naturel des insectes [13].

Dans la région du Sud Kivu, certaines plantes sont utilisées par la population pour protéger les plantes contre les ravageurs. Parmi ces plantes on peut citer *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* ont été plus citées par les agriculteurs paysans exploitant les petites superficies pour les cultures vivrières dans la région de Kabare Nord (communication personnelle). Dans l'optique de trouver des substances alternatives aux pesticides de synthèse susceptibles de résoudre ces problèmes épineux sus évoqués et de contribuer à une gestion durable de l'environnement, il nous a semblé convenable de tester l'activité insecticide des plantes *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* contre la mouche du haricot commun en culture. Ceux-ci sont généralement des plantes insecticides sélectifs, non dangereux pour l'homme, biodégradables, non dangereux pour l'environnement et moins coûteux que les insecticides de synthèse [8], [13], [14] et [15].

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU D'ÉTUDE

L'essai a été installé pour deux saisons dont la campagne B2017 (Février à Juin) et la campagne A2018 (Septembre à Décembre), précisément à Tchirumbi dans le domaine du centre de recherche de l'Institut National d'Etude et Recherche Agronomiques de Mulungu (INERA/Mulungu), situé à 25 Km de la ville de Bukavu, sur l'axe routier Bukavu-Goma.

Tchirumbi où les essais ont été placés, est situé dans la zone tropicale humide à une altitude de 1600 à 1750 m. La classification de COPPEN le place dans la catégorie des milieux à climat du type Altitude West South avec 2 à 3 mois de saison sèche et [16]. Les précipitations annuelles oscillent entre 1400 mm à 1600 mm avec le maximum d'environ 1600 mm en Décembre. La période de saison pluvieuse s'étale de septembre à mai et celle de la saison sèche de Juin à Août [16] et [17]. L'humidité relative moyenne varie entre 60 et 80 % au cours de la saison sèche et pluvieuse; l'insolation relative varie aussi de 50 à 70 % de mois pluvieux vers le mois secs [16] et [18]. Le sol est formé d'une argile mélangée de l'humus faible dérivant de la décomposition des basaltes sous-jacents et son pH varie de 4,5 à 5,2 en altitude. Ce sol est généralement saturé plus haut au-dessus de 1900 m et on observe surtout le Ferri, sols humifères bruns sur basalte, ce qui explique la saturation du complexe [17].

2.2 CONDUITE DES ESSAIS

Dans notre étude, nous avons utilisé 3 plantes insecticides dont *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia*, avec 3 traitements constitués de la dose létale 50, la dose létale 90 et le thiodan avec un témoin.

Les doses létales 50 (DI 50) et 90 (DI 90) ont été déterminées expérimentalement au laboratoire de phytochimie au Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro (CRSN-Lwiro) en mettant les mouches au contact des extraits totaux de ces trois plantes et nous avons retenu les doses qui tuent 50% (DI 50) et 90% (DI 90) des mouches de haricot commun. Ainsi, les doses létales suivantes ont été obtenues: *Tephrosia vogelii*: DI 50 (0.020 g/ml); DI 90 (0.03988 g/ml), *Tetradenia ruparia*: DI 50

(0.1726g/ml) ; DI 90 (0.3088 g/ml) et *Tithonia diversifolia* : DI 50 (0.127g/ml) ; DI 90 (0.2294 g/ml) [19]. Pour le thiodan, nous avons utilisés 1ml de thiodan/l d'eau de pulvérisation et le témoin qui n'avait pas subi aucun traitement d'une substance insecticide.

Sur le terrain, 100 graines de haricot commun de deux variétés V1/HM 21-7 et V2/Rwr2154 ont été semées sur une parcelle de 2m X 2m soit 4m². Après germination des graines, le nombre des plants levés pour chaque variété et parcelle ont été compté.

Au stade végétatif soit V3-V4, nous avons commencé le traitement des plants de haricot commun au moyen des extraits totaux des plantes insecticides et du thiodan dans chaque parcelles et le traitement se faisait chaque après 2 semaines sauf dans la parcelle témoin. Le traitement a été arrêté au stade de la formation des gousses soit r7.

Le traitement a été effectué par pulvérisation des substances insecticides sur les plantes de haricot commun dans les différentes parcelles. Les parcelles étaient faites par répétition avec randomisation par split plot.

Le nombre des pupes de la mouche de haricot commun aux différents stades végétatifs V3-V4 (formation des 1^{ère} et 2^e feuilles trifoliolées) et r6 (en pleine floraison) ont été compté sur 3 plants choisis en diagonale de la parcelle par déracinement à la main.

Pour trouver le rendement parcellaires les produits de la récolte ont été pesés au moyen d'une balance de précision de marque HL-400 pour prélever le poids des graines de chaque parcelle par traitement insecticide, plante insecticide et variété. Le rendement à l'hectare a été obtenu par extrapolation en prenant le rendement parcellaire en gramme multiplié par 10000m² et nous divisons par la superficie parcellaire.

2.3 DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES ET ANALYSES STATISTIQUES

Etant donné que les traitements ont été effectués avec répétitions, le dépouillement a été fait par le regroupement des données des traitements identiques avant leurs analyses statistiques.

Ainsi, le traitement statistique des données a été effectué à base des calculs des moyennes qui nous ont permis de tracer des graphiques.

3 RÉSULTATS

Les résultats de l'étude sont présentés en fonction des saisons culturales (campagne B 2017 et campagne A 2018). La variété V2/Rwr2154 a plus de plants levés par rapport à la variété V1/HM 21-7 car la variété V2/Rwr2154 a un pouvoir germinatif plus élevé et résiste à l'humidité du sol. Ceci s'observe aux figures1 et 2 ci-dessous pour les deux campagnes culturales.

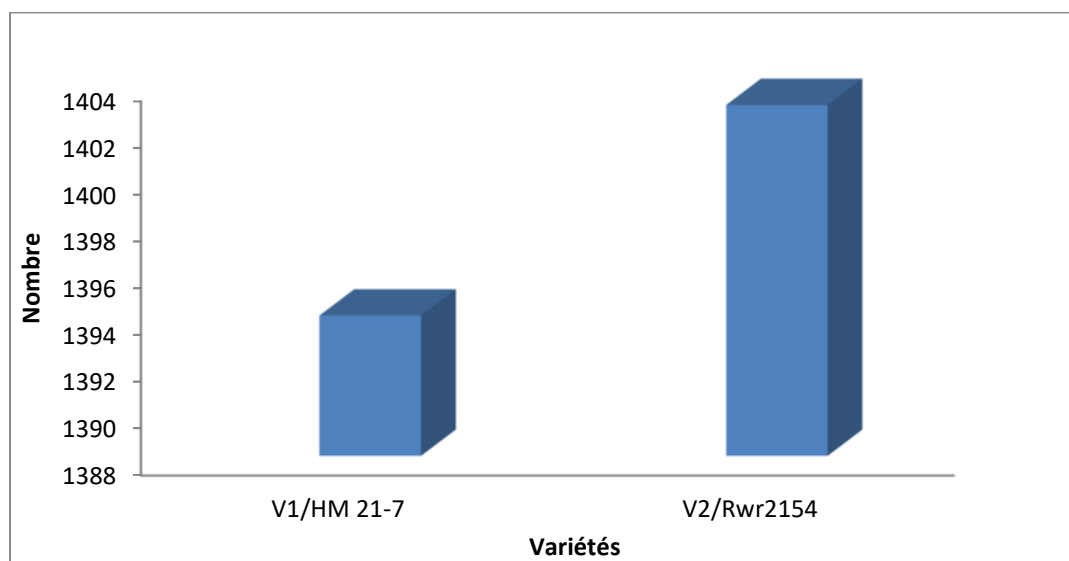


Fig. 1. Nombre de plants levés par variété à la campagne B 2017

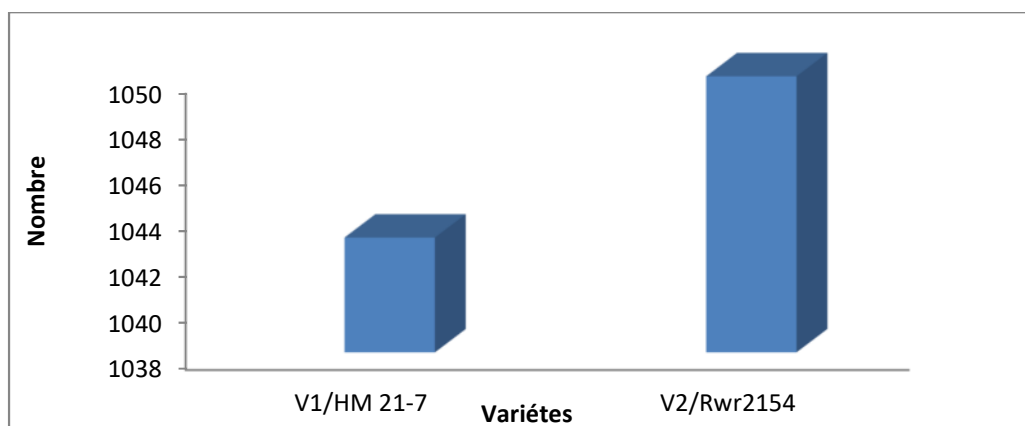


Fig. 2. Nombre de plants levés par variété à la campagne A 2018

En comparant le nombre de plants levés par campagne, on constate que la campagne A 2018 est celle qui a fourni plus de plants levés que la campagne B 2017 car le sol est très bien humidifié. Ces résultats sont rencontrés dans la figure 3 ci-dessous.

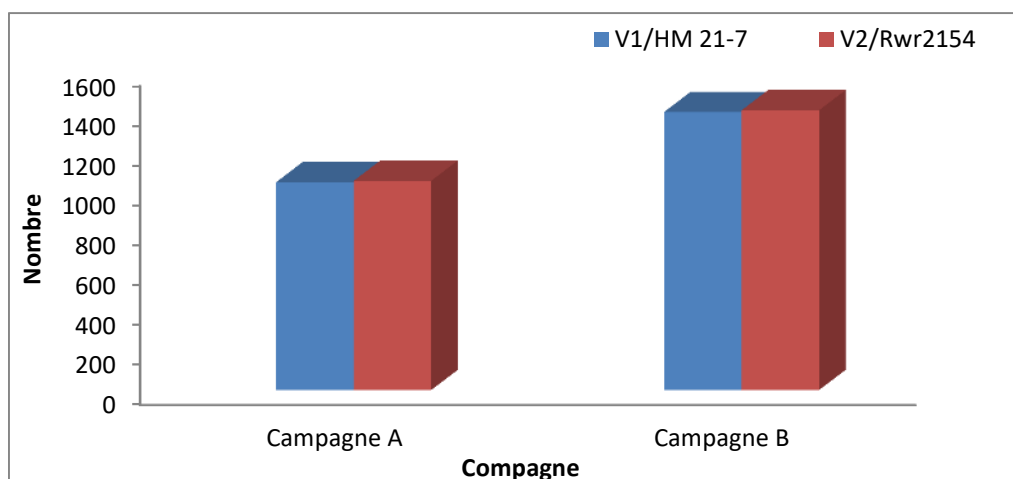


Fig. 3. Comparaison du nombre de plants levés par campagne

Au stade V3-V4 et r6, nous constatons la présence des pupes de la mouche de haricot commun sur les plants en croissance. Au stade V3-V4, la variété V2/Rwr2154 est la plus sensible à l'attaque par la mouche de haricot commun par rapport à la variété V1/HM21-7 et cela au cours de 2 campagnes culturales comme indiqué par les figures 4 et 5.

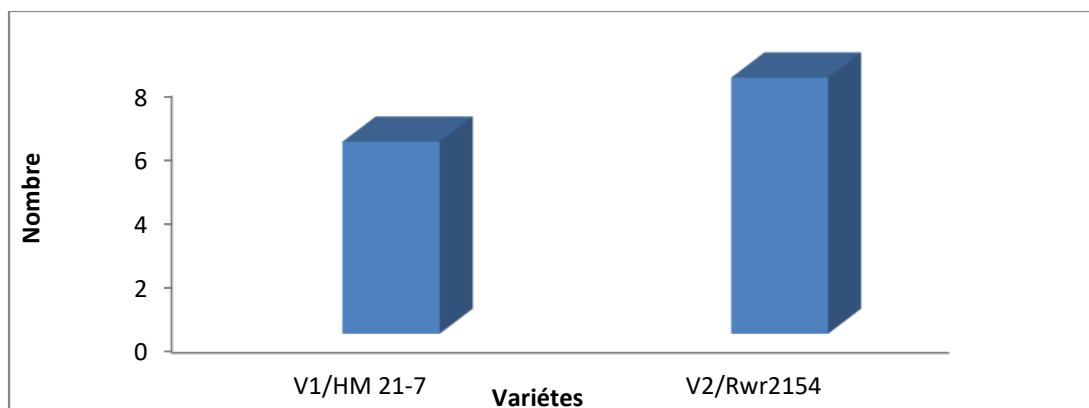


Fig. 4. Nombre de pupes observées à V3-V4 campagne B 2017 par variétés

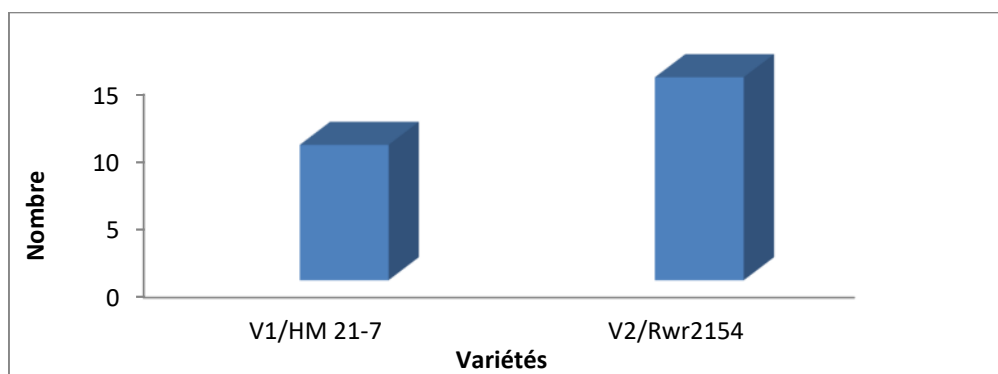


Fig. 5. Nombre de pupes observées à V3-V4 campagne A 2018 par variétés

Lors du traitement des plants par les plantes insecticides et l'insecticide synthétique, thiodan, contre la mouche de haricot commun, nous avons constaté à ce stade V3-V4 qu'il y a moins de pupes sur les plants de haricot commun traités par la plante insecticide *Tephrosia vogelii* et cela pendant les 2 saisons culturales selon que les figures 6 et 7 l'indiquent.

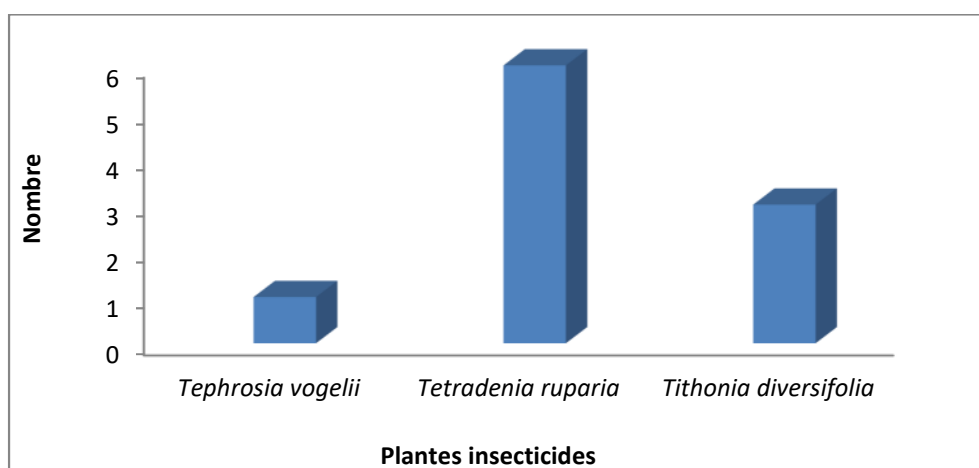


Fig. 6. Nombre de pupes observées à V3-V4 campagne B 2017 par plante insecticide

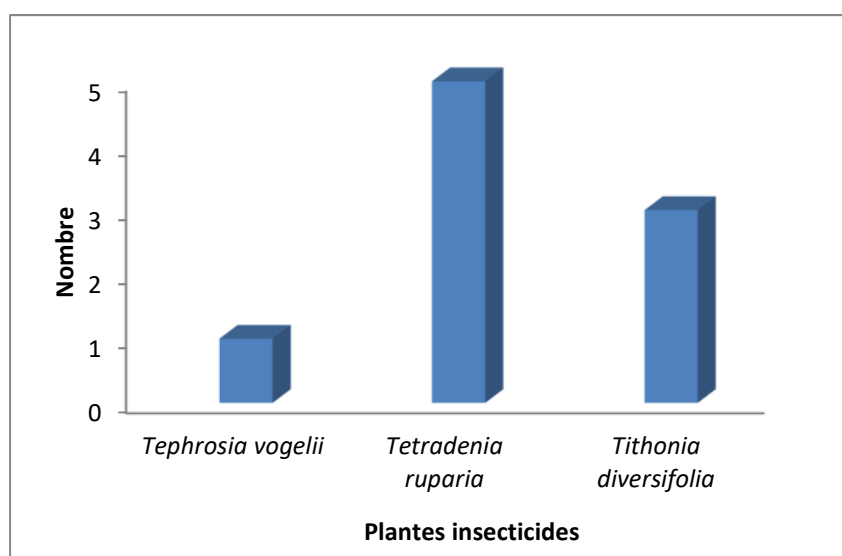


Fig. 7. Nombre de pupes observées à V3-V4 campagne A 2018 par plante insecticide

En comparant les traitements des plants de haricot commun à ce stades avec les plantes insecticides à leurs doses létales (DI 50 et DI 90), le témoin et thiodan; nous avons constaté que les plants traités avec le thiodan sont moins attaqués par la mouche de haricot commun, suivi de la dose létale (DI 90) de chaque plante insecticide et en dernier lieu vient le témoin qui n'avait pas subi aucun traitement et cela pendant les 2 saisons culturales comme l'indique les résultats des figures 8 et 9.

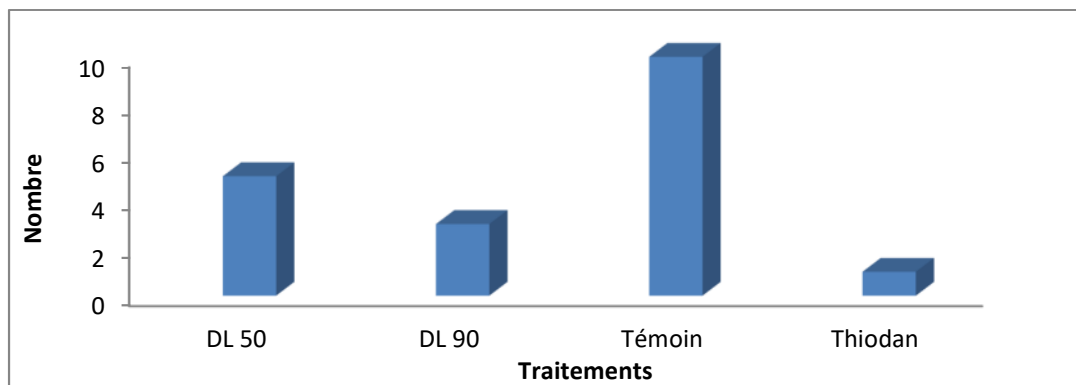


Fig. 8. Nombre de pupes observées à V3-V4 campagne B 2017 par traitement

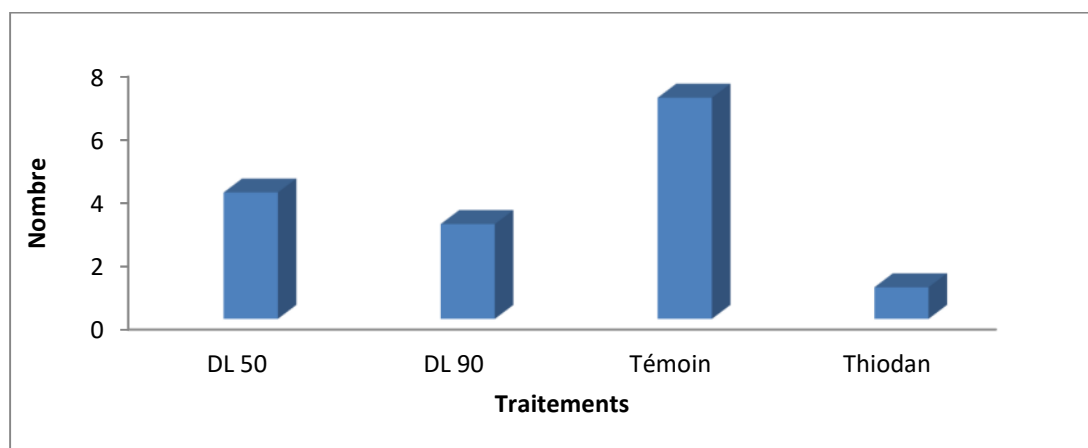


Fig. 9. Nombre de pupes observées à V3-V4 campagne A 2018 par traitement

En effet, les mêmes résultats ont été observés au stade r6; la variété V2/Rwr2154 est la plus sensible à l'attaque par la mouche et cela au cours de 2 campagnes culturales comme les résultats des figures 10 et 11 l'indiquent.

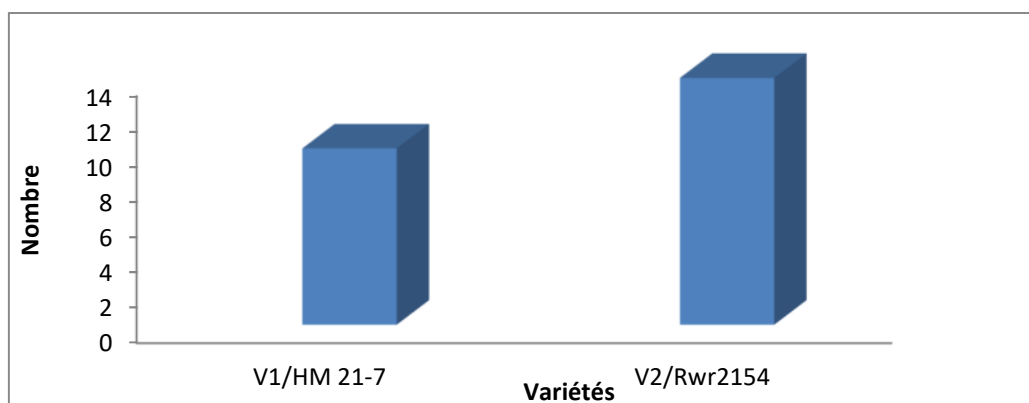


Fig. 10. Nombre de pupes observées à r6 campagne B 2017 par variété

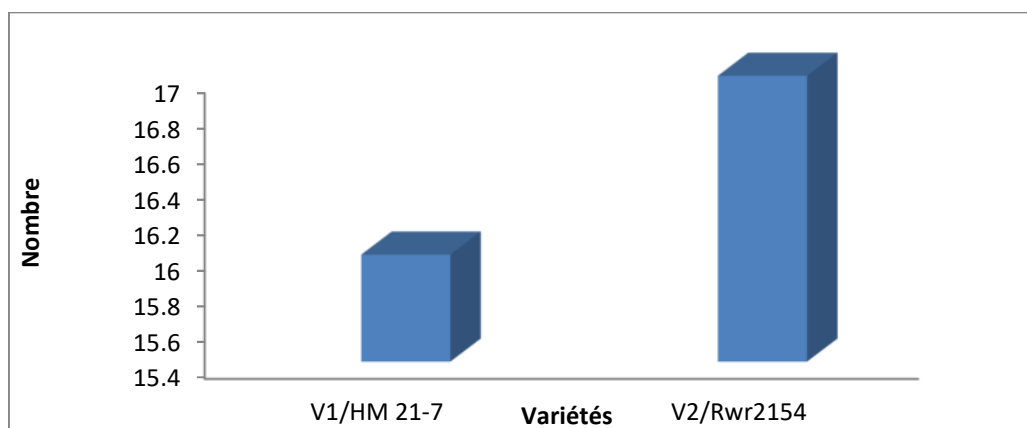


Fig. 11. Nombre de pupes observées à r6 campagne A 2018 par variété

Quant aux plantes insecticides, nous avons constaté qu'à ce stade r6, il y a moins de pupes sur les plants de haricot commun traités par la plante insecticide *Tephrosia vogelii* et cela pendant les 2 saisons culturales selon que les figures 12 et 13 l'indiquent et comme observé au stade V3-V4 aussi.

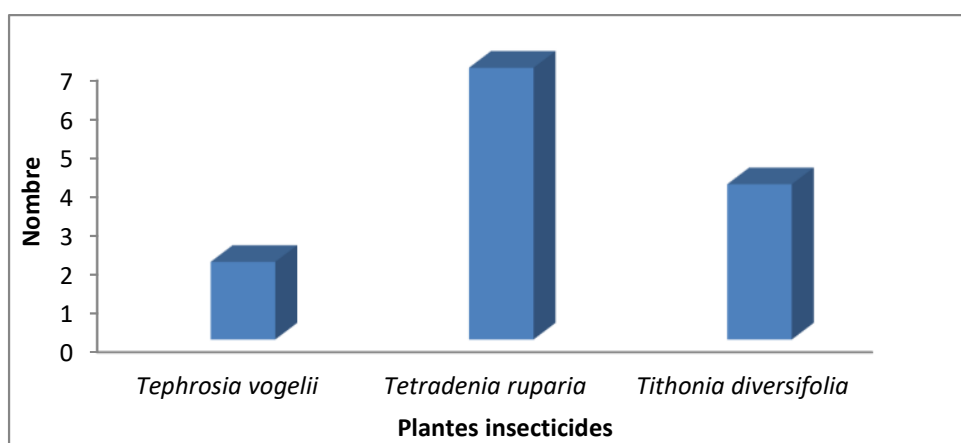


Fig. 12. Nombre de pupes observées à r6 campagne B 2017 par plante insecticide

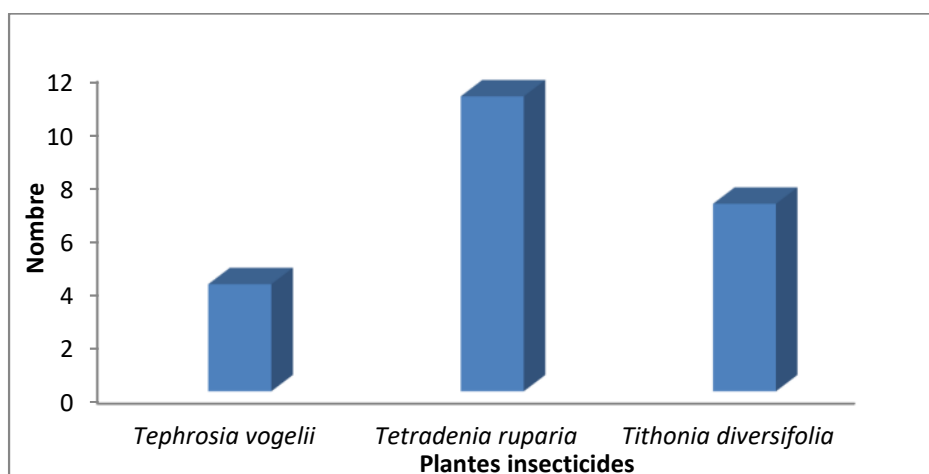


Fig. 13. Nombre de pupes observées à r6 campagne A 2018 par plante insecticide

La comparaison des traitements des plants de haricot commun au stade r6 avec les plantes insecticides à leurs doses létales (DI 50 et DI 90), le témoin et thiodan; nous avons constaté que les plants traités avec le thiodan sont moins attaqués par la mouche de haricot commun, suivi de la dose létale (DI 90) de chaque plante insecticide et en dernier lieu vient le témoin qui n'avait pas subi aucun traitement et cela pendant les 2 saisons culturales comme l'indique les résultats des figures 14 et 15.

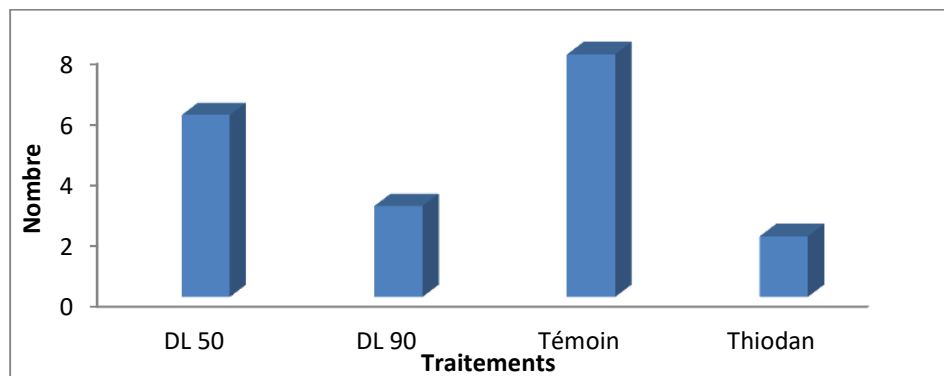


Fig. 14. Nombre de pupes observées à r6 campagne B 2017 par traitement

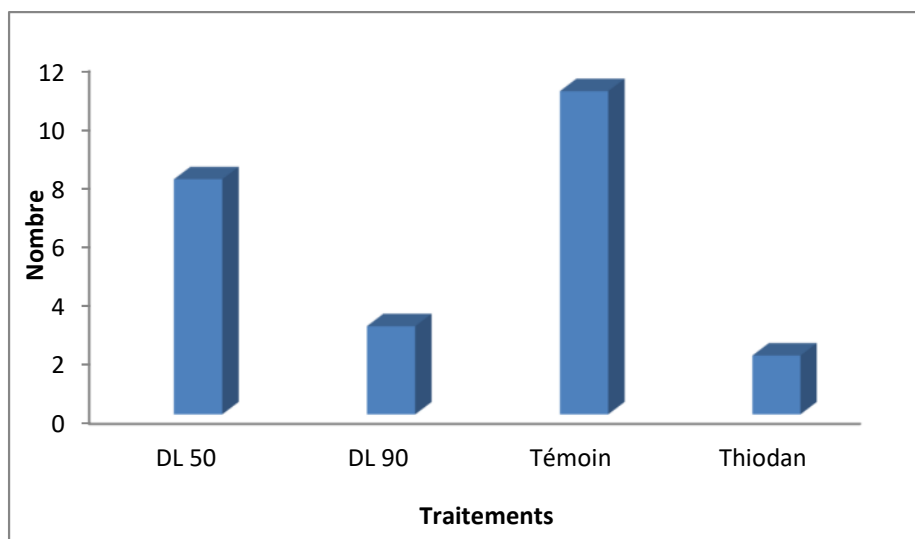


Fig. 15. Nombre de pupes observées à r6 campagne A 2018 par traitement

A la campagne B 2017, le rendement parcellaire en gramme montre que la variété V1/HM 21-7 a donné un rendement élevé (9925 g) par rapport à la variété V2/Rwr2154 (8487 g) car la variété V2/Rwr2154 a été la plus attaquée par la mouche de haricot commun; le rendement parcellaire par plante insecticide utilisé dans le traitement a montré que *Tephrosia vogelii* (7185 g) a permis d'obtenir un rendement élevé, suivi de *Tithonia diversifolia* (6015 g) et enfin *Tetradenia ruparia* (5212 g) et par rapport aux traitements, le rendement parcellaire montre que le thiodan (7997 g) a permis d'obtenir un rendement élevé, suivi de DI 90 (4797g), puis DI 50 (4028 g) et enfin le témoin (1590 g) comme le montre le tableau 1ci-dessous.

A la campagne A 2018, le rendement parcellaire en gramme montre que la variété V1/HM 21-7 a donné un rendement élevé (9424 g) par rapport à la variété V2/Rwr2154 (8152 g) car la variété V2/Rwr2254 a été la plus attaquée par la mouche de haricot commun; le rendement parcellaire par plante insecticide utilisé dans le traitement a montré que *Tephrosia vogelii* (6349 g) a permis d'obtenir un rendement élevé, suivi de *Tithonia diversifolia* (5914 g) et enfin *Tetradenia ruparia* (5313 g) et par rapport aux traitements, le rendement parcellaire montre que le thiodan (7239 g) a permis d'obtenir un rendement élevé, suivi de DI 90 (4689g), puis DI 50 (3731 g) et enfin le témoin (1917 g) comme le montre le tableau 2 ci-dessous et comme démontré à la campagne B 2017.

Tableau 1. Rendement en grammes campagne B 2017

Variétés	Plantes insecticides	Traitements	Rendement en gramme
V1/HM 21-7	<i>Tephrosia vogelii</i>	DL 50	859
		DL 90	1020
		Témoin	218
		Thiodan	1727
			3824
V2/Rwr2154		DL 50	721
		DL 90	955
		Témoin	255
		Thiodan	1430
			3361
V1/HM 21-7	<i>Tetradeniaruparia</i>	DL 50	746
		DL 90	664
		Témoin	312
		Thiodan	1068
			2790
V2/Rwr2154		DL 50	445
		DL 90	533
		Témoin	358
		Thiodan	1086
			2422
V1/HM 21-7	<i>Tithoniadiversifolia</i>	DL 50	656
		DL 90	873
		Témoin	188
		Thiodan	1594
			3311
V2/Rwr2154		DL 50	601
		DL 90	752
		Témoin	259
		Thiodan	1092
			2704

Tableau 2. Rendement en grammes campagne A 2018

Variétés	Plantes insecticides	Traitements	Rendement en gramme
V1/HM 21-7	<i>Tephrosia vogelii</i>	DL 50	618
		DL 90	936
		Témoin	334
		Thiodan	1636
			3524
V2/Rwr2154		DL 50	630
		DL 90	840
		Témoin	239
		Thiodan	1116
			2825
V1/HM 21-7	<i>Tetradeniaruparia</i>	DL 50	711
		DL 90	606
		Témoin	209
		Thiodan	1264
			2790
V2/Rwr2154		DL 50	582
		DL 90	626
		Témoin	587
		Thiodan	728
			2523
V1/HM 21-7	<i>Tithoniadiversifolia</i>	DL 50	658
		DL 90	856
		Témoin	208
		Thiodan	1388
			3110
V2/Rwr2154		DL 50	532
		DL 90	825
		Témoin	340
		Thiodan	1107
			2804

Le rendement extrapolé en kilogramme à l'hectare montre toujours que la variété V1/HM21-7 est celle qui a donné un rendement élevé et cela au cours de 2 saisons culturales comme le montre les figures 16 et 17 ci-dessous.

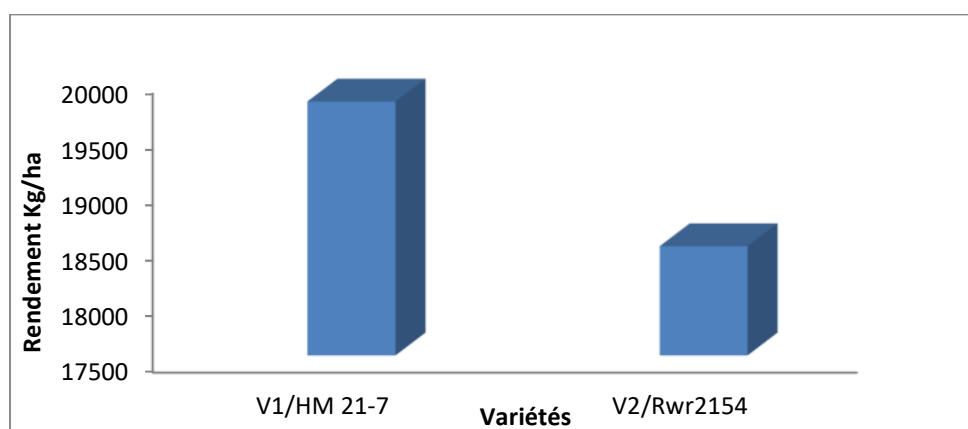


Fig. 16. Rendement en Kilogramme à l'hectare par variété campagne B 2017

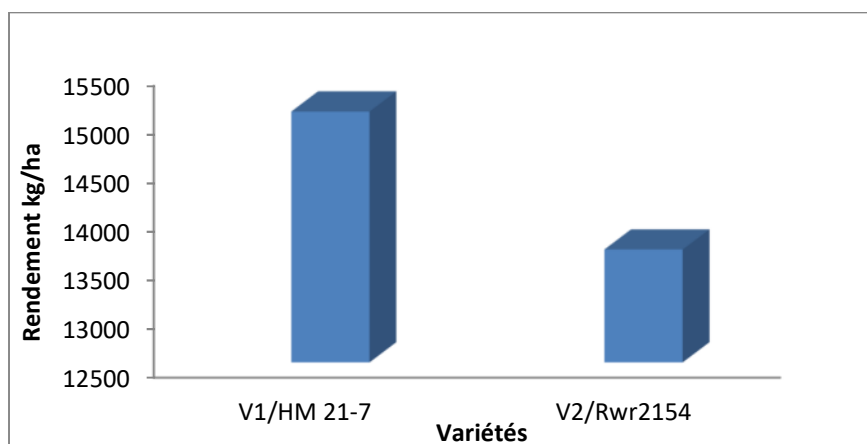


Fig. 17. Rendement en Kilogramme à l'hectare par variété campagne A 2018

Le rendement extrapolé en kilogramme à l'hectare montre toujours que la plante insecticide *Tephrosia vogelii* est celle qui a donné un rendement élevé et cela au cours de 2 saisons culturales comme le montre les figures 18 et 19 ci-dessous.

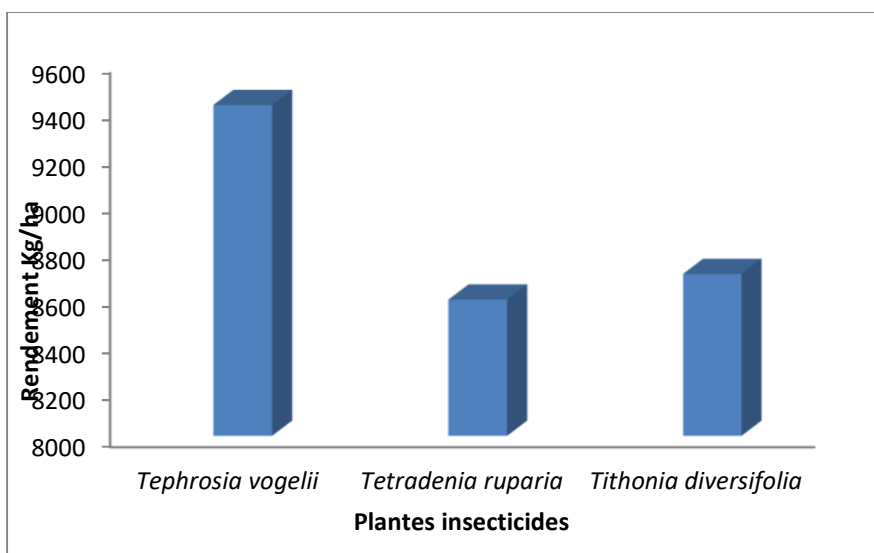


Fig. 18. Rendement en Kilogramme à l'hectare par plante insecticide campagne B 2017

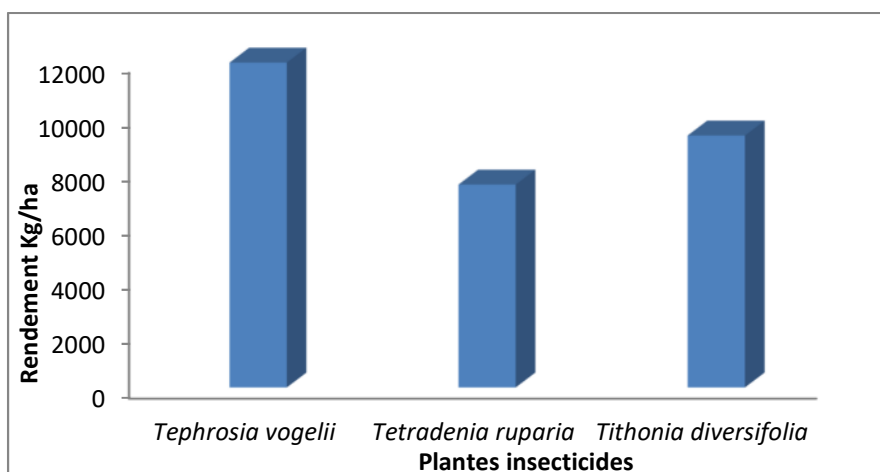


Fig. 19. Rendement en Kilogramme à l'hectare par plante insecticide campagne A 2018

Quant aux traitements utilisés, le rendement extrapolé en kilogramme à l'hectare montre toujours que le thiodan est le traitement qui a donné un rendement élevé, suivi de la DL 90, puis la DL 50 et enfin le témoin et cela pendant les 2 campagnes culturales comme le montre les figures 20 et 21 ci-dessous.

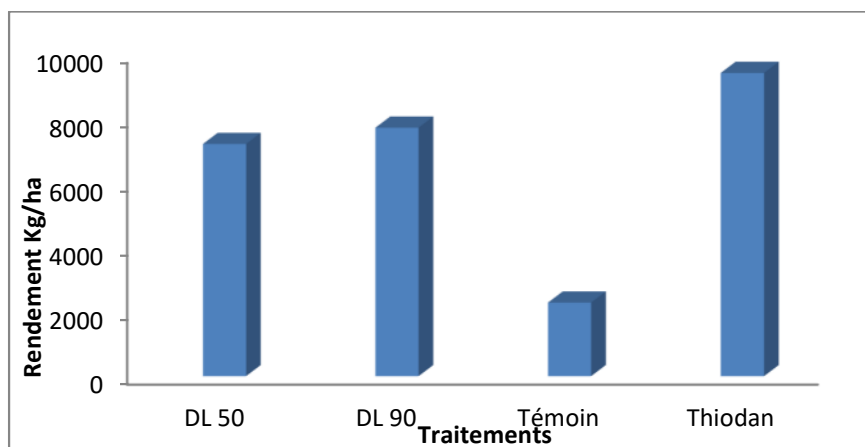


Fig. 20. Rendement en Kilogramme à l'hectare par traitement campagne B 2017

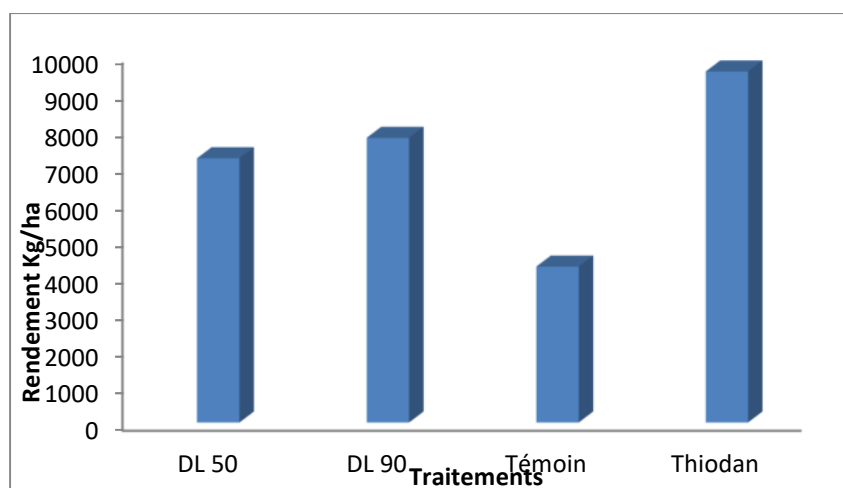


Fig. 21. Rendement en Kilogramme à l'hectare par traitement campagne A 2018

4 DISCUSSION

Ce travail qui a porté sur l'utilisation des plantes insecticides dans la lutte contre la mouche de haricot commun à l'Est de la RD Congo, a montré que réellement les plants levés de haricot commun sont attaqués par la mouche de haricot du genre *Ophiomyia* qui peut être soit *Ophiomyia spencerella*, l'espèce la plus commune, surtout en régions de haute altitude comme à l'Est de la RD Congo et qui est de la couleur noire, *Ophiomyia phaseoli*, plus fréquente en régions de basse altitude et qui est brune et *Ophiomyia centrosematis*, en général, plus abondante sur les cultures de haricot commun de saison sèche et qui est aussi brune [1]. Les campagnes culturales au cours desquelles notre étude a été conduite sont pluvieuses et comme l'Est de la RD Congo est une région de haute altitude, l'espèce destructrice des plants de haricot dans cette région est alors *Ophiomyia spencerella* qui sévit aussi au Burundi et au Rwanda [1], [2] et [4]. Cependant, ce n'est pas la mouche adulte qui cause les dégâts sur les plants de haricot commun, mais plutôt les pupes [1]. Pour lutte contre les dégâts de cet insecte, on utilise les plantes insecticides [4]. Les plantes *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* ont un effet insecticide [19]; c'est pourquoi nous les avons utilisées dans notre expérimentation. Les résultats de l'utilisation de ces plantes insecticides contre la mouche de haricot commun, montrent que ces plantes sont efficaces pour lutter contre la mouche du haricot commun. Dans leur évaluation de l'activité insecticide de quelques plantes insecticides [19] ont trouvé aussi que ces plantes étaient efficaces pour lutter contre le bruch de haricot commun (*Acanthoscelides obtectus*) en stock. Néanmoins, la plante

Tephrosia vogelii est la plus efficace, suivi de *Tithonia diversifolia* et en dernier *Tetradenia ruparia* car nos résultats ont montré qu'aux stades V3-V4 et r6, ce sont les plants de haricot commun traités par le *Tephrosia vogelii* sur lesquels il y a eu moins des pupes de la mouche de haricot commun pour les 2 variétés et pendant les 2 saisons sur lesquelles notre étude a porté comme le montre les figures 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13. Ces résultats sont dus au fait que la plante *Tephrosia vogelii* est plus concentrée en principes actifs insecticides comme les alcaloïdes, terpénoïdes, quinones, stéroïdes, saponines, tannins, flavonoïdes et phénols [19] et [5] comme rencontrés chez d'autres plantes insecticides comme *Ageratum haustanianum*, *Clausena anisata*, *Cratan macrastachyus* [7], *Capsicum frutescens* L, *Melia azedarach* et *Peganum harmala* [9], [13], [20], [21] et [22]. Quant aux traitements que nous avons appliqués, le thiodan s'est manifesté meilleur traitement pour lutter contre la mouche de haricot commun pour les 2 variétés et les 2 campagnes culturales comme l'ont montré les figures 8, 9, 14 et 15. Ceci est dû par le fait que le thiodan est un insecticide synthétique et efficace dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées alimentaires en stock [5] et [15]. Cependant, le thiodan est aussi considéré comme un témoin par rapport aux produits insecticides phytochimiques de *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* appliqués dans cette étude. En effet, pour les produits insecticides phytochimiques utilisés, les plants traités à la dose létale DI 90 sont ceux qui ont été attaqués par moins de mouche de haricot commun par rapport à la dose létale DI 50. Ceci s'explique par le fait que la DI 90 est la concentration du produit insecticide la plus élevée et cause la mort d'un plus grand nombre d'insectes [5], [6], [7], [11], [13], [19] et [22].

Le rendement parcellaire et à l'hectare a été également influencé par l'activité insecticide des plantes insecticides et des traitements appliqués. Les plants traités au *Tephrosia vogelii* ont fourni le rendement le plus élevé pour les 2 variétés et pendant les 2 campagnes comme l'ont montré les tableaux 1 et 2 et les figures 16, 17, 18 et 19; mais aussi, les plants traités au thiodan sont ceux qui ont fourni le rendement le plus élevé suivi de la dose létale DI 90 comme spécifié par les figures 20 et 21. Quand il y a un traitement phytosanitaire appliqué sur les cultures pré-récolte, le rendement s'avère toujours élevé [11] et [13]; voire aussi, l'application des traitements insecticides rend le rendement de la production agricole élevée [6] et [7].

Ainsi, la mise en évidence des principes actifs de ces plantes *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* permettrait d'indiquer lequel d'entre eux est à la base de cette activité insecticide de ces plantes et sa vulgarisation au sein de la population permettrait à cette dernière d'augmenter le rendement du haricot commun en luttant contre la mouche qui ravage les plants de haricot commun en pleine culture.

5 CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif d'évaluer les effets insecticides des plantes insecticides *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* sur la mouche, insectes ravageurs de haricot commun en pleine culture; ceci car les végétaux en pleines cultures sont toujours attaqués par des insectes et des maladies qui réduisent leurs rendement car sont des ravageurs ou empêchent une bonne croissance à différents stades de leur croissance. L'étude a révélé que les plantes *Tephrosia vogelii*, *Tetradenia ruparia* et *Tithonia diversifolia* ont une bonne activité insecticide car contiennent des principes actifs insecticides (alcaloïdes, terpénoïdes, stéroïdes, quinones, flavonoïdes, saponines, phénols et tanins). L'utilisation de ces plantes insecticides est un atout pour les plants attaqués par les insectes et surtout dans le cadre de la mouche du haricot commun qui réduit la productivité de son hôte alors que ce dernier constitue un aliment important et de grande valeur biochimique dans les pays en voie de développement en général et en RD Congo en particulier. L'application des plantes insecticides et leurs principes actifs sur les cultures ravagées par les insectes réduisent la prolifération des insectes et leur destruction, ce qui permet aux cultures de bien émerger et fournir un rendement meilleur comme nous l'avons constaté dans cette étude. Ainsi, il est plus important de tester d'autres plantes insecticides sur la mouche de haricot, mais aussi sur d'autres insectes afin de contribuer à l'amélioration de la production du haricot commun et sa conservation en stock.

REMERCIEMENT

Nous remercions tous les laborantins du Programme National Légumineuse (PNL), BAHATI Bujingo, MULUKU Bahozi, SODA Garhagalwa, BAHATI Kasigwa et BYAMUNGU Balagizi pour leurs assiduités aux travaux de terrain et leur savoir-faire qui nous ont permis d'obtenir ces données scientifiques pour la confection de cet article.

REFERENCES

- [1] Lays J.F., Autrique A. et Niyokindi L., La mouche du haricot: fiche technique, Service de Prévulgarisation, Division de la Défense des végétaux, Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (I.S.A.Bu), no 008, 19 p, 1987.
- [2] Nyabyenda P., Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitudes d'Afrique : cultures industrielles et d'exportations, cultures fruitières, cultures maraîchères, Presses Agronomiques de Gembloux, Collection CTA, Belgique, pp.238, 2006.
- [3] Mirindi T. C., Evaluation agronomique de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) en essais d'adaptation: Cas des variétés grimpantes : nutritionally enhanced climbing beans (nuv). Article en préparation.2018.
- [4] Ipapel, Rapport de l'Inspection Provinciale de l'Agriculture, Pêche et Elevage du Sud-Kivu sur les statistiques de production végétale de 2000 à 2012, pp.10-13, 2012.
- [5] Matoko, Effets de la poudre et des extraits de plantes insecticides sur deux insectes de stock des denrées alimentaires *Callosobruchus maculatus* Fab et *Sitophilus oryzae* L. (Coléoptères bruchidae et Cucurlionidae), Thèse de doctorat 3^e cycle, Université de Dschang, Cameroun, pp.300, 1995.
- [6] Semacumu et Kouabou, « Effets d'extraits de plantes sur le bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fab) et le charançon du riz (*Sitophilus oryzae* Y.) », Note de recherche; *Cahiers Agriculteurs*, 5, 1, pp.39 – 42, 1996.
- [7] M. C. Teugwa M, G. Piam, P. Tane , Z. P. R. Amvam , « Activité insecticide des extraits d'*Ageratum haustanianum*, de *Clausena anisata* et de *Cratan macrastachyus* sur le bruche du niébé (*Vigna unguiculata* Walp) ». *Faad-Africa*, pp.1-4, 2002.
- [8] Regnault R., Philogène B. J. R., Vincent C., Biopesticides d'origine végétale, 2^eème édition, Lavoisier, Paris, pp.550, 2008.
- [9] A. Bouchelta, A. Boughdad , H. Meftah , « Effet biocide des extraits aqueux bruts de *Capsicum frutescens* L, *Melia azedarach* et *Peganum harmala* sur *Euphyllura olivine* Costa (Homoptera, Psyllidae) en verger ». *Cah Agric*, 20, 6, pp.463-467, 2011.
- [10] Glitho, Ketoh K. G., Nuto P Y., Amevoin S K., Huignard, Approches non toxiques et non polluantes pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles en Afrique du Centre et de l'Ouest. 207-217. In *Regnault-Roger C., Philogène B. JR., Vincent, C* (éds). *Biopesticide d'origine Végétale jme édition*. Lavoisier, TEC & DOC, Paris, pp.550, 2008.
- [11] Arnason, Durst T., Philogène B. J. R., Scott L M., Prospection d'insecticides phytochimiques de plantes tempérés et tropicales communes ou rares. 88-99. In *Regnault-Roger C., Philogène B J R et Vincent C.,* (éds). *Biopesticides d'origineVégétale 2ème édition*. Lavoisier, Paris, TEC & DOC, pp.550, 2008.
- [12] Chiasson, Delisle U., Bostanian N J., Vincent C., Recherche, développement et commercialisation de FACIN, unbiopesticide d'origine végétale. Étude d'un cas de réussite en Amérique du Nord, p. 451-463. In *Regnault-Roger C.,Philogène B J R., Vincent C.* (éds). *Biopesticides d'origine Végétale 2ème édition*. Lavoisier, Paris, TEC & DOC, pp.450, 2008.
- [13] A. Bouchelta, A. Boughdad, A. Blenzar, "Effets biocides des alcaloïdes, des saponines et des flavonoïdes extraits de *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) sur *Bemisia tabaci* (Gennadius) (*Hom*; Aleyrodidae) ». *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 9, pp. 259-69, 2005.
- [14] H. Rembold, « Advances in invertebrate reproduction", *Elsevier Science Publishers*, 3, pp.481-491, 1994.
- [15] Marna L. C., Gikaru G., Ajayi F., Les avantages des pesticides naturels. *Agriculteurs Africains*, pp.158, 1990.
- [16] Koleramungu O.C., Etude du synergisme d'insecticides botaniques dans la protection du haricot contre les bruches. Mémoire, inédit, ISTD/Mulungu, 29 p, 2002.
- [17] Nzama D., Etude des moments d'application des biomasses de *Tithonia diversifolia* dans la culture de la pomme de terre à Mulungu. Mémoire, inédit, ISTD/Mulungu, 19 p, 2000.
- [18] Muhwandju R., Application de *Tithoniadiversifolia* dans la lutte contre la mouche de haricot : cas de nyamunyune. Mémoire, inédit, ISTD/Mulungu, 37 p, 1999.
- [19] Koleramungu O., Matabaro Y. A., Mirindi T. C., Ruhebuza N., Musungayi T., et Bahizire J-L.K., Evaluation comparative de l'activité insecticide des extraits aqueux totaux des quelques plantes contre *Acanthoscelidesobtectus*, insecte ravageur de haricots. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 26, 2, pp. 650-655, 2016.
- [20] Kabar J. et Gicha L., Insecticidal activity of derived from different parts of the mangrove three *Rhizonora mucrorata* (Rhizophoraceae) LAM. Against thae arthropods. *African Journal of Science and Technology*. 2, 2, pp 44-49, 2001.
- [21] Nsambu M., Muhigwa B., Rubabura K., Bagalwa M., et Bashwira S., Evaluation in vitro de l'activité insecticide des alcaloïdes, saponines, terpénoïdes et stéroïdes extraits de *capsicum frutescens*l. (solanaceae) contre *antestiopsisorbitalis ghesquierei*, insectes ravageurs des caféiers. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 8, 3 pp. 1231-1243, 2014.
- [22] Bagalwa M., Bashwira S. et Chifundera K., Insecticidal activity of *Occimum gratissilum*, *Menthaaquatica* and *Haumaniastrum galeopsifolium* (Lamiaceae), Plants of Kivu Province, Democratic Republic of Congo. *Annales de l'UCB*, 1, 72-76, 2001.

BIOSURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE DES EAUX DE L'OUED OUISLANE (MEKNES, MAROC)

[INTEGRATED ENVIRONMENTAL BIOMONITORING OF THE WATERS QUALITY IN OUISLANE RIVER (MEKNES, MOROCCO)]

Lahcen KARROUCH¹, Abdelkader CHAHLAOU¹, and Adil ESSAHLE²

¹Department of Biology, Faculty of Sciences Meknes, University of Moulay Ismail, B.P.11.201 Zitoune, Meknes, Morocco

²Health-Environment Service, Provincial Delegation of Health in El Hajeb, Morocco

Copyright © 2018 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 valley of the Ouislane River (Meknes) undergoes anthropic pressure, which acts mainly on the river water quality. A study of the impacts of anthropogenic activities on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Ouislane River was conducted. This study focused on five stations: from the source to the exit of the city of Meknes, with a monthly sampling frequency in 2010. We analyzed twelve physicochemical parameters and determined the diversity (Shannon-Wiener and Evenness Index) as well as the biological index through the benthic macroinvertebrates, based on the SEQ-V.2 scoring system. The relationships between the physicochemical and the macrobenthic data were investigated by biotopology analysis (PCA and FCA) and Pearson correlation analysis. According to the SEQ-Eau, The results obtained show that the water quality in station (O1) is of good quality, but the ecological functioning of the river is very disturbed "polluted" when it passes through the agglomeration of Meknes (O2). Downstream, the water quality is average in the O4-O5 section. Four variables are involved actively in the individualization of the physico-chemical environment: COD, dissolved oxygen, TSS and BOD5. The total number of macrobenthic taxa and their overall richness indices and diversity indices were significantly higher at the station (O1) than other stations. The analyses showed that the richness and diversity indices were generally influenced by the total suspended solids, chemical oxygen demand and biology oxygen demand of the river water. This study also highlighted the impacts of anthropogenic activities on the distribution and species diversity of macrobenthic invertebrate. Some sensitive (Trichoptera) and resistant species (Tubifex sp.) are identified as potential bioindicators of river ecosystems. The data obtained in this study supported the use of the bioindicator concept (Innovative Biotechniques for biomonitoring water quality) for North Africa Rivers because it is more efficient than conventional methods.

KEYWORDS: water quality, Multivariate Statistical Techniques, Benthic Macroinvertebrates, Morocco.

RÉSUMÉ: Dans la vallée de l'Oued Ouislane, les activités urbaines, industrielles et agricoles s'intensifient d'une année à une autre et par conséquent, les polluants affectent la qualité du milieu aquatique et sa composition faunistique. Cette étude a porté sur cinq stations sur le lit de l'Oued Ouislane depuis la source à la sortie de la ville de Meknès, avec une fréquence de prélèvement mensuel (en 2010). Nous avons analysé douze paramètres physico-chimiques et déterminer la diversité (indice de Shannon-Wiener et Équitabilité) ainsi que l'indice biologique par le biais des macroinvertébrés benthiques. Les relations entre les données physico-chimiques et macroinvertébrées ont été étudiées par analyse biotopologique (ACP et AFC) et par analyse de corrélation de Pearson. Les résultats obtenus montrent que l'eau en amont du cours d'eau (O1) est de qualité assez bonne, par contre le fonctionnement écologique de l'Oued Ouislane est très perturbé lors de son passage dans l'agglomération de Meknès (O2), par comparaison à la grille de la qualité des eaux superficielles (SEQ-Eau). En aval, la qualité d'eau est moyenne dans le tronçon O4-O5. Quatre variables interviennent activement dans l'individualisation de l'environnement physico-chimique: DCO, oxygène dissous (O₂), matière en suspension (MES) et DBO5. Le nombre total de taxons macroinvertébrés

benthiques et leurs indices de richesse-diversité étaient significativement plus élevés dans la station amont (O1) que dans les autres stations. L'analyse biotypologique montre que les indices de richesse et de diversité étaient généralement influencés par la demande chimique en oxygène et la matière en suspension (MES), la demande biologique en oxygène. Cette étude a également mis en évidence les impacts des activités anthropiques sur la répartition et la diversité des macroinvertébrés benthiques. Certaines espèces sensibles (Trichoptères) et résistantes (*Tubifex* sp.) sont identifiées comme des bioindicateurs potentiels d'écosystèmes fluviaux. Les données obtenues dans cette étude ont appuyé l'utilisation du concept de bioindicateurs (Innovation Biotechniques pour la Biosurveillance la qualité de l'eau) pour les rivières de l'Afrique du Nord parce qu'il est plus efficace que les méthodes conventionnelles.

MOTS-CLEFS: Qualité de l'Eau, Techniques statistiques multivariées, Macroinvertébrés Benthique, Maroc.

1 INTRODUCTION

La pollution de l'environnement est devenue dans les dernières décennies un des problèmes majeurs qui conditionnent l'avenir de notre civilisation. En effet, la dégradation de plus en plus étendue résultant de la pollution de l'écosphère compromet la stabilité des écosystèmes et par conséquent le renouvellement des ressources naturelles. Les espèces vivantes, végétales ou animales, occupant les espaces pollués, subissent des agressions auxquelles elles doivent s'adapter ou qui compromettent leur intégrité, voire leur survie [1], [2]. La protection de l'environnement est devenue de nos jours l'un des problèmes du quotidien. Les gouvernements, aussi bien que les ONG ne cessent de déployer de plus en plus d'efforts dans ce contexte. La pollution des écosystèmes aquatiques représente, par ailleurs, l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation de l'environnement. Pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement [3]. Au cours ces dernières années, la région de Meknès a connu un développement industriel important. L'influence anthropique sur l'Oued Ouislane se manifeste par différentes activités industrielles comprennent les tanneries, la brasserie, le textile, la cimenterie, les huileries, les conserveries, la forge et la poterie [4]. Les activités agricoles sont pratiquées sur l'ensemble du bassin versant ou directement dans les petites parcelles en bordure de la rivière et les déchets industriels sont rejetés directement dans l'Oued Ouislane (Tableau 1). Toutes ces activités affectent la qualité de l'eau et provoquent des modifications plus ou moins marquées des communautés vivantes, particulièrement les macroinvertébrés [5], [6], [7], [8]. La structure des communautés de macroinvertébrés benthiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes aquatiques, et peut fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat [9]. Les organismes aquatiques réagissent à toutes les altérations physico-chimiques et la biocénose garde longtemps la trace d'une pollution même passagère. Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat [10], [11], [12], [13]. Leurs utilisations en tant qu'indicateur de perturbation ont fait l'objet de plusieurs études dont nous citons entre autres, celles de Sylvestre [14] et Moisan [15]. Dans ces conditions, les objectifs principaux de ce travail sont d'une part, la détermination de l'impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux de l'Oued Ouislane et d'autre part étudier les relations entre les paramètres physico-chimiques et la biodiversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Ouislane, en utilisant des méthodes multimétriques (ACP, AFC et t-test). Afin d'identifier les paramètres physicochimiques provoquer des changements significatifs dans la répartition et la diversité des macro- invertébrés benthiques.

Tableau 1. Flux des rejets industrielles et agricoles en kg/jour [16]

STATION	ACTIVITES EN AMONT	FLUX DE REJETS (KG/JOUR)			
		M.O	M.E.S	M.P	M.A
O1	- Activité agricole	-	-	35	44
O2	- Celliers de Meknès	7	0,7	0,4	0,2
	- Huiliers de Meknès et Conserves de Aïcha	2110	930	15	25
	- Moulin Essadiyane	10	105	1,5	1,0
	- Centre laitière	2200	10	20	10
O3	- Abattoir (bovin et ovins)	232	241,2	3,4	48,5
	- BRANOMA	27,3	6,8	0,8	0,6
	- Moulin (Atlas)	52,5	289,5	8,8	0,7
	- Ismailiya Rubrique	-	170	-	-
O4	- LAFARGE ciment	-	790	-	-
	- Activités agricoles	-	-	30	42
O5	- Activités agricoles	-	-	25	30

M.O : Matière organique; **M.E.S** : Matière en suspension; **M.P** : Matière phosphatée; **M.A** : Matière azotée.

2 MATRIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE ET SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

Le cours d'eau Oued Ouislane est l'un des affluents du bassin de Sebou, son bassin versant se trouve à 15 km au sud de la ville de Meknès (**Figure 1**). La lithologie du bassin versant est constituée de Tirs (sol riche en matières organiques) et calcaire (roche mère). Sur le plan climatique, La moyenne annuelle de la température est 18 C° avec des valeurs extrêmes de 7 C° et 40 C° enregistrés pendant les mois de Janvier et Juillet. La moyenne annuelle de la pluviométrie est de 450 mm, avec un maximum en janvier. La vitesse de courant devienne importante durant la période hivernale et printanière. L'hydrogéologie de la zone d'étude constituée de deux aquifères importants: la nappe profonde (≥ 150 m) et l'aquifère peu profond (la nappe phréatique) (≤ 20 m). Les eaux de deux aquifères sont utilisées pour l'approvisionnement en eau potable ainsi que pour l'irrigation et l'industriel. Compte tenu de l'objectif général de l'étude, pour un échantillonnage plus représentatif du cours d'eau, nous avons choisi cinq stations sur le lit de l'Oued Ouislane (**Figure 1**). La station O1 est située en au-dehors des activités anthropiques, le choix de cette station est primordial, du fait qu'elle est considérée comme station de référence (témoin). Les stations O2 et O3 sont choisies dans une zone de grande influence anthropique (domestique, industrielle et agricole). Les points O4 et O5 sont localisés en aval de l'agglomération de Meknès. Les **tableaux 2 et 3** présentent les caractéristiques des stations étudiées.

2.2 MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Quatre paramètres physico-chimiques ont été enregistrés mensuellement sur le terrain. La température et la conductivité ont été mesurées par un conductimètre du type CONSORT K 912, le pH a été mesuré, par un pH-mètre modèle HANNA Hi 8519N, et l'Oxygène dissous (O_2) par une oxymétrie du type THERMO ORION 810. Deux répliques d'échantillons d'eau de chaque station ont été prélevées dans les bouteilles (polyéthylène 500 ml). Les échantillons d'eau ont été préservés par l'ajout de 2 ml d'acide chlorhydrique concentré ($pH \leq 2$). Des échantillons d'eau ont été acheminés dans une glacière à une température basse ($\pm 4^\circ C$) pour arrêter les activités métaboliques des organismes dans l'eau. Les autres paramètres physico-chimiques : Dureté totale (TH), nitrates (NO_3^-), sulfates (SO_4^{2-}), chlorures (Cl^-), demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO_5), demande chimique en oxygène (DCO), Orthophosphates ($H_2PO_4^-$) et matières en suspension (MES) sont dosés au laboratoire. Les techniques analytiques utilisées sont celles décrites par Rodier [17], avec un spectrophotomètre modèle *Hach Dr2000* à une longueur d'onde spécifiée. Des mesures mensuelles sont régulièrement effectuées au niveau des stations choisies durant la période allant du mois de janvier à décembre 2010.

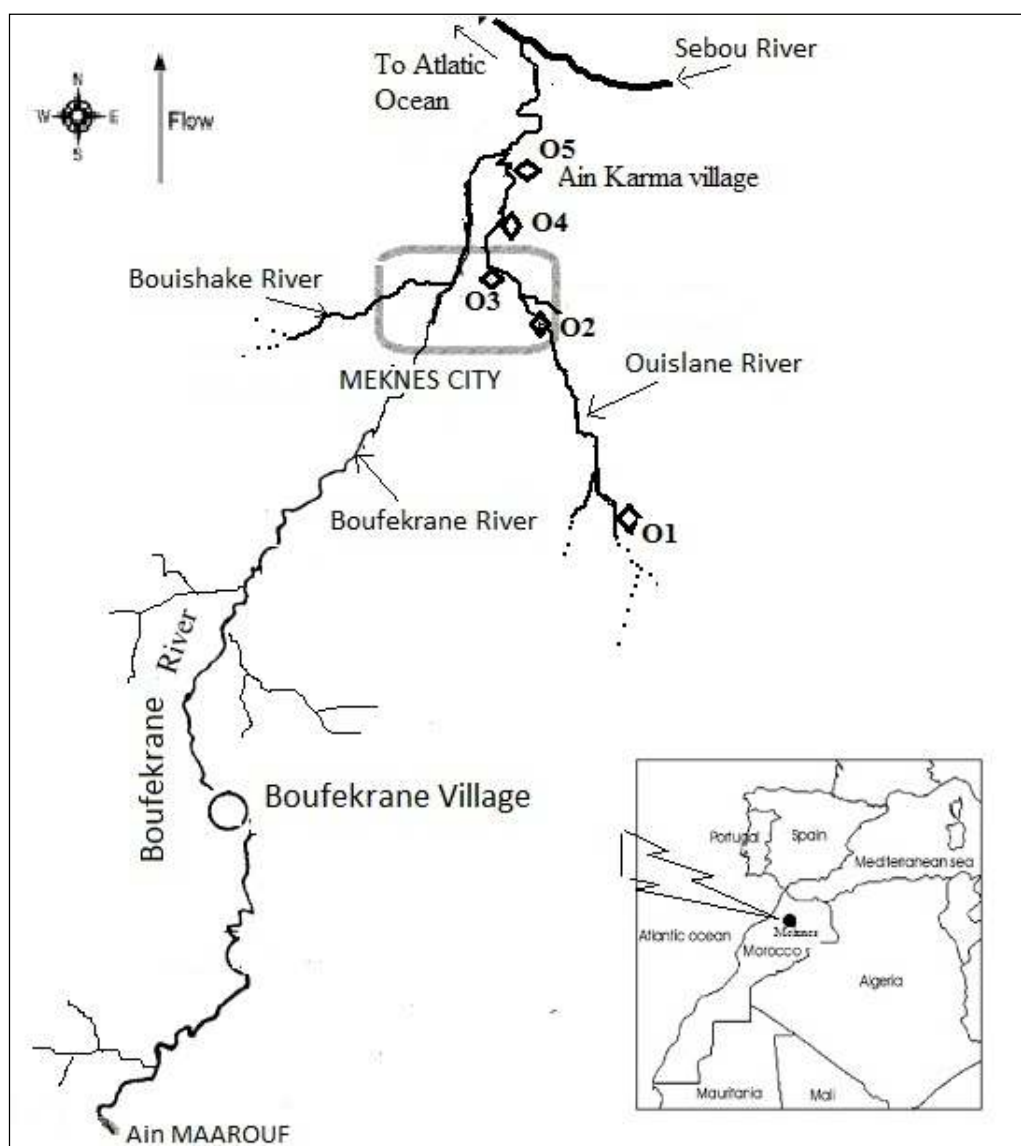


Fig. 1. Situation géographique et stations d'échantillonnage le long de la rivière Ouislane

Tableau 2. Caractéristiques morphodynamiques moyennes des stations étudiées

Paramètres					
Stations	Altitude (m)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Distance de la source (km)	Vitesse (m/s)
O1	560	3	1	0,03	0,75
O2	550	2	0,7	5	1
O3	550	1,5	0,5	8	1,2
O4	530	2	1	14	1,2
O5	500	3	0,5	25	1,2

Tableau 3. Description des stations étudiées et leurs caractéristiques biotiques et abiotiques.

Paramètres			
Stations	Substrats de fond (Habitat abiotique)	Végétations Aquatique (Habitat Biotique)	Observations et Raison d'être
O1	- Hygropétrique(roche affleurante, Blocs) ; - Megalithal (Dalles,...)	- Phytal1 : Hydrophytes en général, y compris macrophytes et mousses	- Site de références peu touchées par les nuisances anthropogéniques
O2	- Microlithal (gravier grossier, gravier fin et sable) - Acal (gavier fin), - Psammal (sable, 0.063-2mm)	- Phytal2 : Algues filamenteuses, Bactéries des eaux usées ; - Xylal : Bois mort - MOP-C (Mat.Org.part.grossière)	- Site dans le tronçon traverse la ville de Meknès - Avoir l'influence des rejets domestiques de quartier Bassatine
O3	- Acal , - Psammal , - Pélal - argyllal (limons et vases, argile)	- MOP-C; - MOP-F (Mat.Org.part.fine); - Bactéries, Sapropel	- Influence par les rejets égouts principaux de la commune Ouislane - Avoir l'impact des rejets sur le cours d'eau.
O4	- Mésolithal (galets avec gravier et sable). - Microlithal (gravier grossier, gravier fin et sable) ; Acal (gavier fin à moyen, 0.2 2 cm), Psammal (sable)	- Phytal1 : hydrophytes ; - Phytal2 : algues filamenteuses ; - Xylal : Bois mort - MOP-C (Mat.Org.part.grossière)	- située en aval de l'agglomération de Meknès ; commune Ouislane - estimer le degré de autoépurations de cours d'eau
O5	- Mésolithal (galets avec gravier et sable). - Microlithal (gravier grossier, gravier fin et sable)	- Phytal1 : hydrophytes ; - Phytal2 : algues filamenteuses ; - Xylal : Bois mort - MOP-C (Mat.Org.part.grossière)	- site en aval de la ville - Capacité autoépuration de cours d'eau dans le trançon O3-O5

2.3 ECHANTILLONNAGE, IDENTIFICATION DES MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques répond à un protocole standardisé Association Française de Normalisation (AFNOR) [18]. Il est fait à l'aide d'un filet de Surber (maille: 0,3 mm, zone de capture: 0,1 m²) a été utilisé sur des sites d'échantillonnage comportant des substrats d'eau courante peu profonde (Oued Ouislane est un cours d'eau peu profond). L'échantillonneur Surber a été placé au fond contre le flux. Après la séparation et le tri, toute la faune capturée a été placée dans des bouteilles en plastique et conservée avec de l'éthanol à 10%. En laboratoire, pour faciliter le tri, nous avons procédé à une sélection par taille des échantillons à l'aide d'une colonne de trois tamis à mailles décroissantes, 2 mm, 1 mm et 0,3 mm. Les groupes zoologiques sont séparés dans des piluliers contenant de l'alcool à 70 % afin d'identifier et de déterminer la variété taxonomique de l'échantillon et son groupe faunistique indicateur. L'identification spécifique a été faite en utilisant les descriptions originales marocaines (collections de l'Institut Scientifique de Rabat) et méditerranéennes. Les clés utilisées dans cette étude étaient [19], (oligochètes aquatiques du Maroc), [20] (Annélides et Oligochètes), [21] (Crustacés), [22] (Mollusques) et [23] (Introduction à l'étude des macroinvertébrés d'eau douce). Pour les insectes, les clés utilisées étaient [24] (Hétéroptère aquatique du Maroc commenté et inventaire), [25] (Atlas préliminaire des crustacés décapodes d'eau douce), [26] (Contribution à la connaissance des coléoptères aquatiques et des hémiptères du Maroc oriental: catalogue faunique), [27] and [28] (Diptère Chironomidiés: larves aquatiques) et [29] (faune continentale de l'Enquête Nationale sur la Biodiversité). Après l'identification, les taxons sont placés dans des pilules de verre contenant du formaldéhyde ou de l'éthanol pour les spécimens dont la coquille ou la carapace peut être détruite par le formol (crustacés, mollusques).

2.4 ANALYSE DE DONNÉES

2.4.1 INDICES DE DIVERSITÉ ET BIOLOGIQUE (I.B.G.N)

L'évaluation des conditions biologiques a été réalisée en trois étapes et basée sur le calcul des indicateurs (les métriques) de qualité (évaluation numérique):

1. **L'Indice Biologique Général Normalisé (I.B.G.N)** est déterminé grâce aux relevés des macroinvertébrés aquatiques (insectes adultes, nymphes et larves ou vers, mollusques....) selon la norme AFNOR 1992 [18].
2. **Indice de Shannon-Wiener (H')**:

$$H' = - \sum_{j=1}^s p_j \log p_j$$

S = nombre total d'espèces; p_j = Abondance proportionnelle ou le pourcentage d'importance, il est calculé comme suit : $p_j = n_j / N_T$

n_j = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon;

N_T = nombre total d'individus de toutes les espèces de l'échantillon

3. **Indice d'Equitabilité (E)**:

$$E = H' / H'_{\max} \text{ avec } H'_{\max} = \log(s)$$

H' : diversité des espèces

$H'_{\max}$: Le logarithme ($\log_{10}$) du nombre total d'espèces (S) dans l'échantillon

Les indices de la qualité biologique d'Oued Ouislane étaient basés sur les recommandations du travail de suivi biologique de Beauger [30], où chaque famille a un seul score quel que soit le nombre d'individus ou d'espèces enregistrées pour la famille.

2.4.2 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

Le coefficient de corrélation de Pearson a permis d'établir les corrélations entre les variables physico-chimiques et biologiques et aussi le t -test a permis de comparer, les variations des paramètres physico-chimiques entre les différentes stations d'échantillonnage. Dans le but d'établir une biotypologie de l'Oued Ouislane, le traitement statistique des données et en particulier l'Analyse des composantes principales (ACP) et l'analyse Factoriel des composantes (AFC) ont été effectuées à l'aide de la version 9 de logiciels XLSTAT 2011. Ces méthodes ont été largement utilisées dans très nombreux domaines se rapportant à l'environnement pour mettre en évidence les associations entre les individus et/ou les variables et afin de mettre en évidence les influences saisonnières et anthropiques sur les cours d'eau [31], [32], [33], [34]. Pour élaboration un matrice de données (données biotypologique) sous forme de tableaux à double entrée de n espèces et p stations. Nous avons opté, pour l'expression numérique de l'élément np , pour la somme des valeurs de l'abondance de chaque espèce n et dans chaque station p . Afin de réduire les fortes disparités entre les abondances des taxons à forts effectifs, nous avons procédé à une transformation des abondances en classes correspondant au terme d'une progression géométrique de raison 2 [35] [36]. Cette évaluation semi-quantitative contient encore toute l'information nécessaire à l'analyse (Tableau 4).

Tableau 4. *Classes et intervalle d'abondance retenue dans l'étude biotypologique.*

Classes	Intervalle d'abondance
0	Absence
1	[1 ,10]
2	[11 ,100]
3	[101 ,1000]
4	Sup >1000

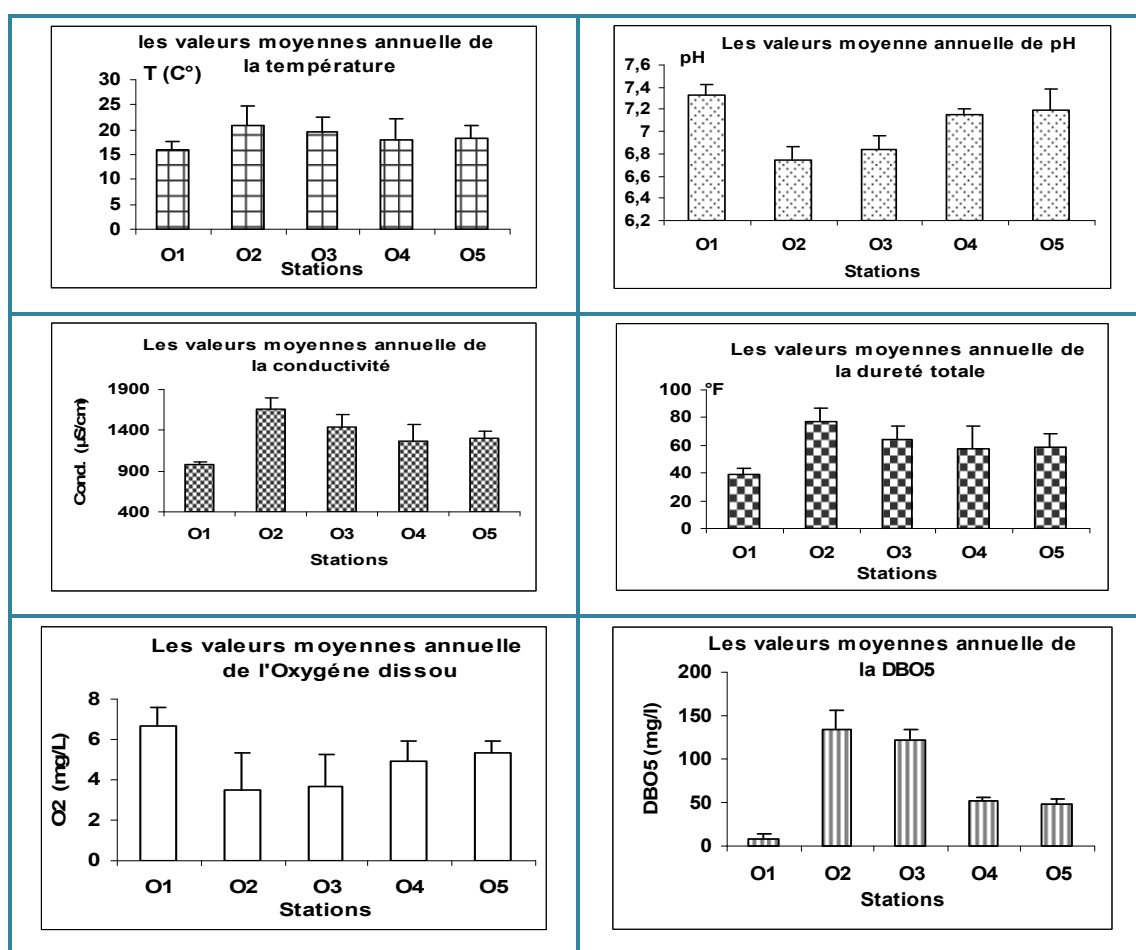
3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques enregistrés pendant toute la période d'étude est représentée à la figure 2. La comparaison des moyennes de la température, conductivité, dureté totale, chlorures, sulfates, orthophosphates, demande biologique en oxygène, demande chimique en oxygène, et matières en suspension, au niveau des cinq stations étudiées a permis de déceler l'existence d'un gradient généralement croissant de la station O1 à la station O2 et décroissant dans le tronçon O3-O5, exception faite pour la station O3, qui est caractérisé par la présence d'une légère

diminution des concentrations de certains paramètres par rapport à la station O2. Les paramètres physico-chimiques fournissent des indications sur la qualité de l'eau, mais ils sont assujettis à des variations par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau [37]. Les résultats montrent également que les paramètres de conductivité et de dureté totale, deux indicateurs de la minéralisation de l'eau, évoluent de manière parallèle sauf au niveau de la station O4 où on note une baisse de la conductivité. Cette baisse s'explique par l'assimilation de certains éléments minéraux par les algues filamenteuses au niveau de la station O4 (voir Tableau 3).

Par contre l'oxygène dissous, le pH et les nitrates suivent un gradient décroissant entre la station O1 et O2 (chute au niveau de la station O2 à cause des rejets polluants importants) et croissant dans la section O3-O5. Les valeurs de pH situent dans l'intervalle recommandé de 6,5 et 8,5 pour la vie aquatique [38]. Le taux d'oxygène dissous est de 70 % (6,96 mg / l), ce qui est supérieur au minimal recommandé (30 %, 2,43 mg / l DO à 25,1°C) pour la protection de la vie aquatique [39], [40]. La dégradation par les microorganismes des matières organiques biodégradables déversées dans le cours d'eau entraîne une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau. À très fortes charges organiques, la concentration en oxygène dissous baisse à des concentrations critiques (taux d'oxygénation pratiquement nul et l'augmentation des indicateurs de pollution : demande chimique en oxygène, demande biologique en oxygène, carbone organique, et orthophosphates [37]. À ces niveaux très bas d'oxygène la fermentation des matériaux organiques s'installe et entraîne l'acidification du milieu (baisse du pH au niveau de la station O2), La diminution de pH peut également être liée aux rejets de produits toxiques d'origine industriels. Ces valeurs peuvent résulter de la nature des terrains traversés par l'eau et du sol de son bassin versant [17]. Selon Mumba [41] le gradient croissant des teneurs en nitrates dans le tronçon O3-O5 est vraisemblablement dû à des phénomènes de lessivage du sol riche en engrais (nitrates, sulfates, etc.). Les niveaux naturels des orthophosphates dans les eaux fluviales varient de 0,5 à 3,05 mg / l [42], alors que les teneurs des $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$ dépassent les valeurs maximales dans l'ensemble des sites étudiées. Cette augmentation serait due à l'effet des apports en eaux usées, agricoles et industrielles chargés des substances polluantes.



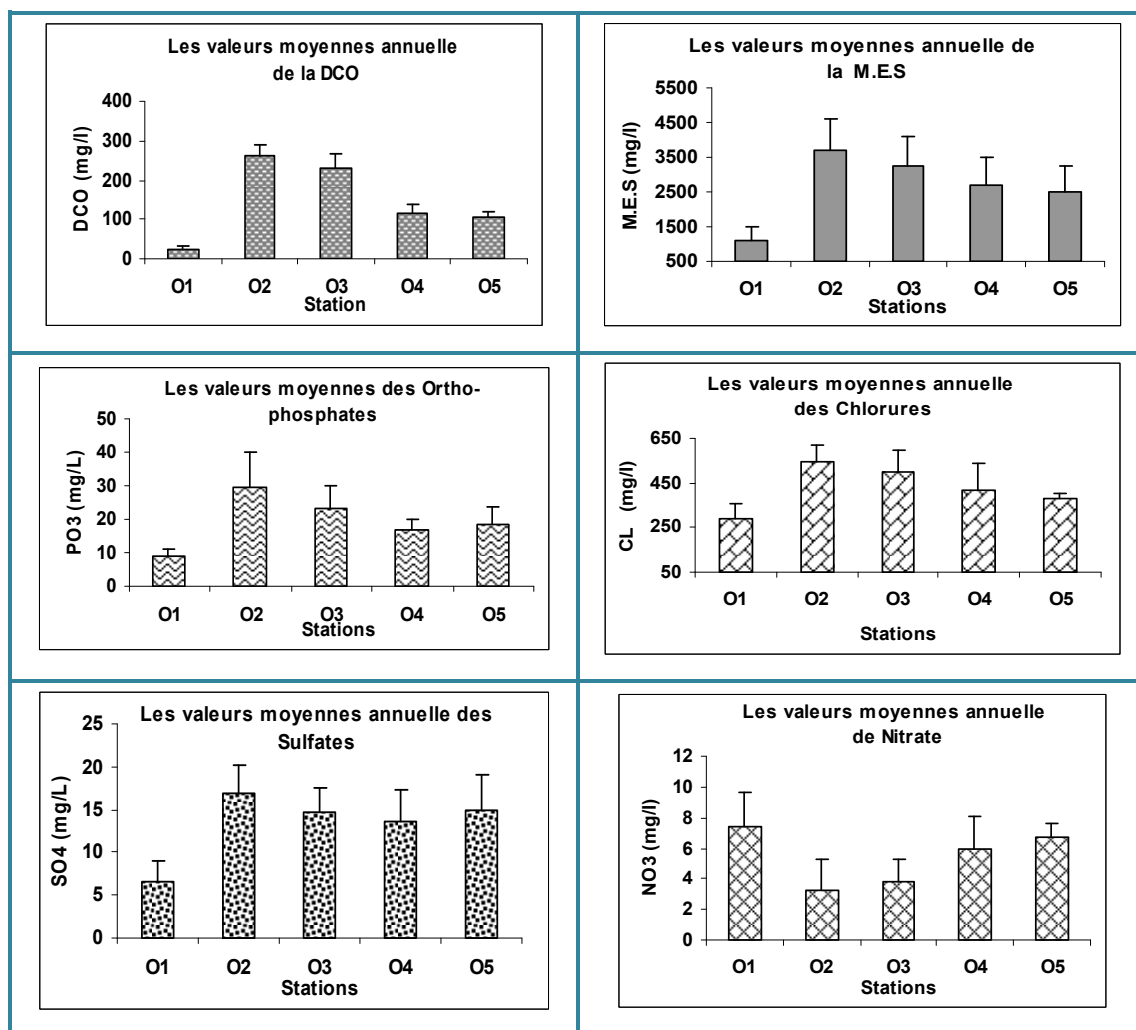


Fig. 2. Les valeurs moyennes annuelles des paramètres physicochimiques au niveau des stations Oued Ouislane (2010).

Les faibles valeurs des températures (15 – 27°C) enregistrées dans les stations pendant la période d'étude pourraient s'expliquer par la localisation de la zone d'étude en milieu périurbain où la couverture végétale entraîne un faible ensoleillement des cours d'eau et constitue une barrière réduisant l'impact des rayons solaires sur la variation de la température de l'eau [43]. Les valeurs élevées des écarts-types de la majorité des variables témoignent d'une forte dispersion des distributions de celles-ci. Ces écarts-types seraient dus à des variations temporelles et saisonnières (changement climatique) et anthropogéniques. Le tableau 5, qui récapitule les résultats des corrélations de test de Pearson indique que la majorité des paramètres physico-chimiques présentent des corrélations significativement élevées (niveau de signification calculé $P < 0,05$). L'oxygène dissous, nitrates et le pH sont corrélés négativement avec les autres paramètres. La demande biologique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) corréleront assez fortement entre eux ($r_{(DCO-DBO_5)} = 0,98$) et avec les orthophosphates ($r_{(DCO-H_2PO_4)} = 0,67$; $r_{(DBO_5-H_2PO_4)} = 0,64$). Cependant, certaines variables présentent des coefficients de signification faible cas de (O₂) et DBO₅ ($r_{(O_2-DBO_5)} = -0,668$).

Tableau 5. Matrice de corrélation (Pearson (n))

Variables	T°	Cond.	pH	O2	DBO5	DCO	H ₂ PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	T.H	MES
T°	1											
Cond.	0,290	1										
pH	0,330	-0,128	1									
O2	-0,013	-0,350	0,386	1								
DBO5	0,231	0,465	-0,380	-0,668	1							
DCO	0,245	0,508	-0,350	-0,652	0,984	1						
H ₂ PO ₄ ³⁻	-0,129	0,235	-0,413	-0,667	0,670	0,645	1					
NO ₃ ⁻	-0,479	-0,244	0,013	0,387	-0,453	-0,494	-0,050	1				
Cl ⁻	-0,174	0,255	-0,292	-0,509	0,302	0,295	0,229	-0,304	1			
SO ₄ ²⁻	0,137	0,311	-0,025	-0,403	0,416	0,436	0,243	-0,148	0,078	1		
TH	0,556	0,583	-0,121	-0,290	0,354	0,345	0,107	-0,279	0,147	0,318	1	
MES	-0,212	0,252	-0,186	-0,547	0,535	0,527	0,427	-0,170	0,311	0,380	-0,058	1

Les valeurs en **gras** sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Les perturbations de l'ensemble du système liées à de tels apports ne peuvent pas être décrites par ses seules corrélations (bivariées). Nous proposons d'examiner dans cette partie de l'étude les possibilités offertes par l'analyse multidimensionnelle et en particulier par analyse en composantes principales (ACP). Les résultats de l'analyse en composantes principales effectuée sur la matrice des données pour les 12 variables physico-chimiques sont sur la figure 3. Les valeurs propres (44.92 % et 16,36 %) montrent que la majeure partie des informations est expliquée par le premier axe factoriel qui représente plus de 44.92 % de l'inertie totale (61.28 %). Dans le cas général, une meilleure représentation du nuage de points dans cette conception factorielle se traduit par beaucoup d'inertie [44], [45]. Nous observerons que l'axe principal 1 présente principalement et presque exclusivement les variables à caractère organique alors que l'axe principal 2 représente majoritairement les variables à caractère minéral.

Le cercle de corrélation (Figure 3) montre clairement que la température, la conductivité, les sulfates, les chlorures, les matières en suspension, les orthophosphates, DCO, DBO5 et la dureté totale sont corrélées positivement avec la première composante principale (F1 44.92%), contrairement au pH, les nitrates et l'oxygène dissous qui sont associés négativement à cet axe. Cet axe (F1) permet l'identification de l'enrichissement des variables décrites précédemment en relation avec les apports anthropogéniques le long du lit de l'Oued Ouislane (Tableau 1). De plus le contraste entre les nutriments, la température, l'oxygène dissous et le pH, qui apparaît dans ce graphique pourraient s'expliquer par la relation inverse de la solubilité de l'oxygène dissous et par l'augmentation de la concentration des nutriments (phosphates, sulfates) au cours de l'automne et de l'été, coïncidant ainsi avec l'augmentation de la température et la photosynthèse.

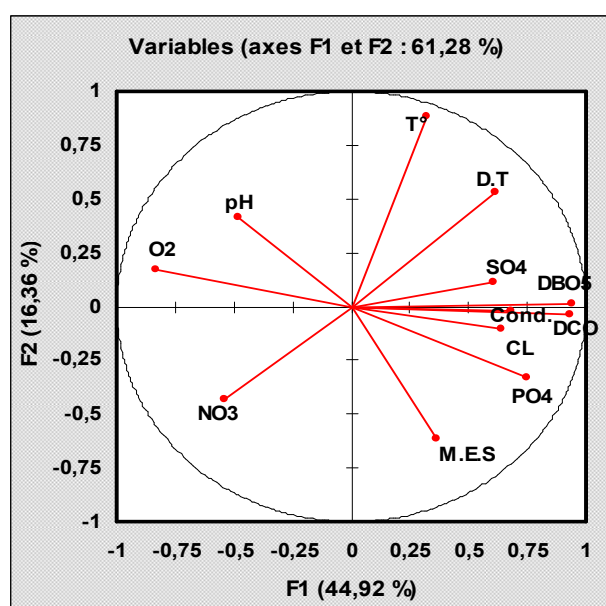


Fig. 3. Analyse en composantes principales (ACP) des variables physico-chimiques.

L'évolution temporelle de la qualité de l'eau a été évaluée par la dispersion du nuage de point correspondant aux différents prélèvements. La figure 4 montre pour l'ensemble des stations la dispersion du nuage de points correspondant à ces stations durant la période d'étude par l'ACP réalisée avec 12 variables. Une dispersion faible est nécessairement caractéristique d'une eau peu modifiée par les variables climatiques et anthropiques. Nous observerons en particulier l'augmentation régulière et importante de la dispersion des points le long de la composante 1 (composante organique). En effet, de la station O1 à la station O5 l'évolution se fait essentiellement selon la composante 1 montrant l'importance de la matière organique et en particulier des rejets anthropiques sur l'évolution de la qualité de l'eau de ces stations et que ce sont les stations 2 et 3 qui présentent les plus grandes amplitudes. Cela est tout à fait corroborer à ce qui a été mentionnée précédemment concernant les rejets industriels et agricoles observé au niveau de ces stations (Tableau 1).

L'A.C.P des individus mois-stations permet d'individualiser quatre groupes :

- ✓ **Groupe 1 :** Ce groupe est constitué exclusivement par les individus 1 (mois-station 1), faiblement dispersée et coordonnée positivement sur la composante 1. Les eaux de ce groupe sont faiblement chargées en éléments dissous, matières organiques et bien oxygènes.
- ✓ **Groupe 2 :** Il est formé principalement par 12 individus (mois-station 4, mois-station 5) qui présente des coordonnées négatives sur l'axe 1 à l'exception des individus Av2, Ma2 et Ma3. La dispersion des individus de ce groupe est beaucoup plus importante le long de la composante 2 (composante minérale).
- ✓ **Groupes 3 et 4 :** Ces deux groupes sont constitués par les individus mois-station O2 et O3. Ils renferment 45% de l'ensemble des individus étudiés. Sur Axe F1, ces individus ont des coordonnées positive et très chargées en matière organique. Les individus du groupe 4 se distinguent par une forte minéralisation au cours de la période d'été. Ce qui se traduit par une augmentation de la DCO, DBO5, MES et une élévation de la minéralisation aboutissant à une accentuation de la contamination de l'eau.

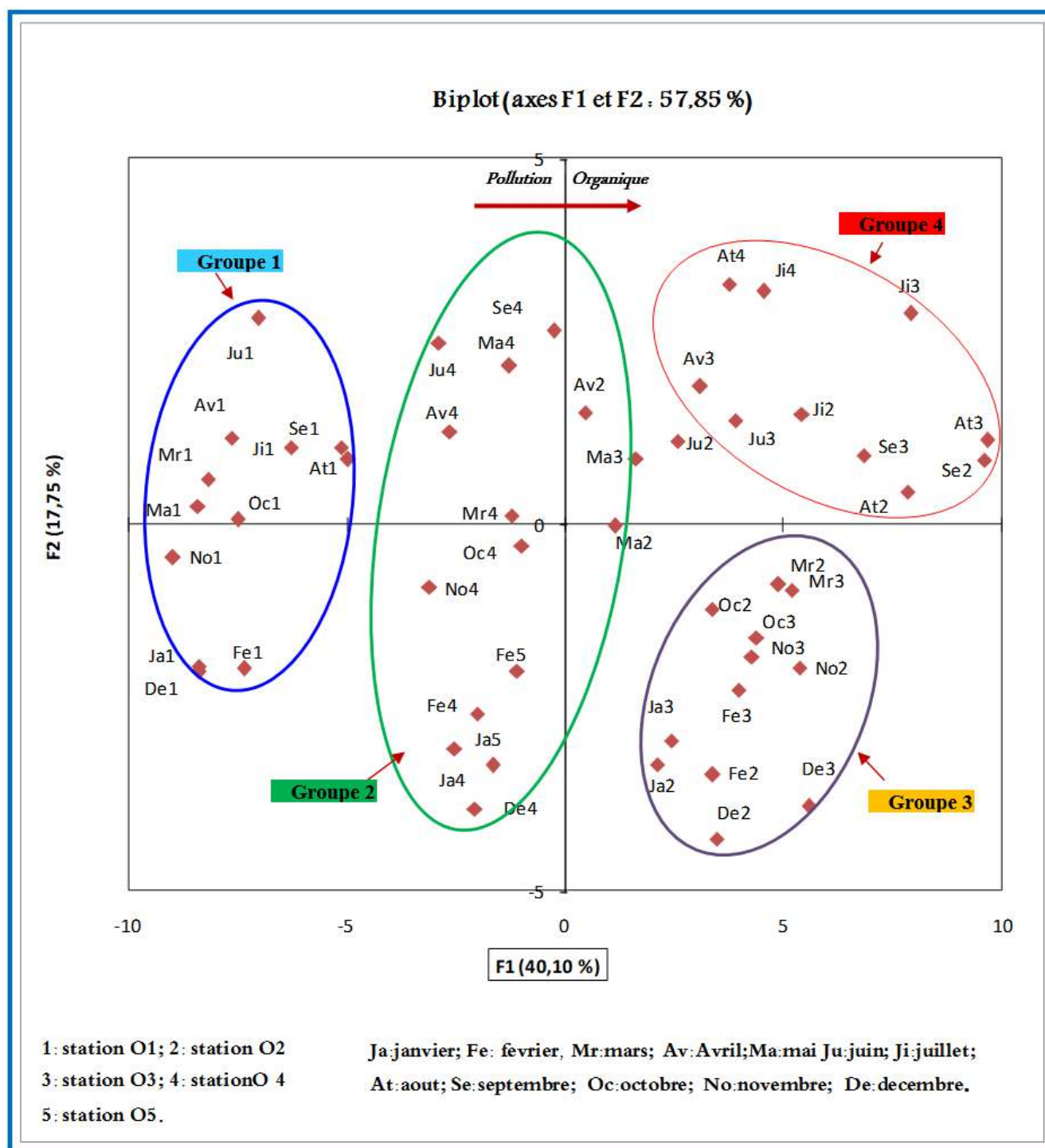


Fig. 4. Analyse en composantes principales des individus mois-stations

Station 1: O1; Station 2: O2; Station 3: O3; Station 4: O4; Station 5: O5.

Les principaux résultats physico-chimiques montrent de façon claire un état de dégradation de la qualité de l'écosystème aquatique étudié. Cet état de dégradation existe au niveau de la ville de Meknès (stations O2 et O3). Néanmoins, d'après ces résultats, on peut affirmer que le tronçon entre les stations O4 et O5 exerce un rôle auto-épurateur (oxydations biologiques) pour les polluants organiques biodégradables et pour certains polluants minéraux. Pour mieux rendre compte de la qualité de l'Oued Ouislane, nous nous sommes intéressés aussi à l'étude des communautés des macroinvertébrés qui peuplent ce cours d'eau.

3.2 MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES DATA

3.2.1 ABONDANCE QUANTITATIVE DES GROUPES FAUNISTIQUES

L'inventaire faunistique (Tableau 6) de l'Oued Ouislane regroupe 105 taxons des macroinvertébrés benthiques répartis en 42 familles (récoltés en 2010). Les crustacés et les mollusques représentent 53 % de la totalité de la faune benthique récoltée (Figure 5). Les gastropodes sont le groupe le plus riche en taxons, représentant 40 % de la faune totale. Ils sont dominés par les familles des Melanidae, Physidae et Valvatidae. Les plathelminthes et les annélides qui représentent 21 %, sont dominés par la famille des Tubificidae. La classe des insectes représente 26 % de la totalité de la faune récoltée. Les Diptères (10%) sont représentés essentiellement par les chironomes. Les éphéméroptères, odonates et plécoptères occupent la quatrième place avec 5 % de la macrofaune récoltée principalement dans les stations amont loin de toute perturbation anthropique. Les plécoptères représentent 0,3% de la communauté benthique récoltés dans le cours d'eau. L'absence des Plécoptères dans certains cours d'eau d'Afrique du Nord semble être due aux températures estivales élevées en relation avec le cycle hydrologique [46]. Le profil d'évolution de l'abondance des macroinvertébrés benthiques est relativement similaire à celui de la richesse spécifique.

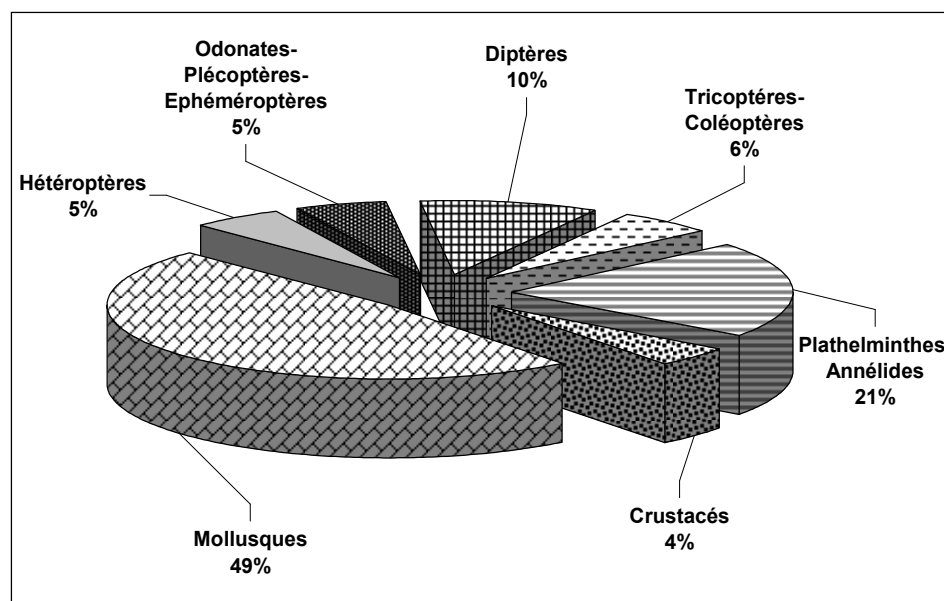


Fig. 5. Spectre Zoologique des stations étudiées Oued Ouislane (2010)

3.2.2 RICHESSE TAXONOMIQUE, INDICE BIOTIQUE (IBGN) ET INDICES DE DIVERSITÉ

L'analyse de la richesse taxonomique montre que les stations O1 et O5 contiennent respectivement 79 et 47 taxons, soit 60 % de l'ensemble de la faune benthique récoltée dans l'Oued Ouislane (Figure 6). Les stations O1 et O5 représentent les stations les plus riches en espèces. La station O1 est située en amont des perturbations anthropiques, alors que la station O5 localisé dans le tronçon du cours d'eau possédant une capacité d'auto-épuration importante. Le lit de l'Oued au niveau de ces stations est constitué par une diversité du substrat et de la végétation aquatique (Tableau 3), conditions favorables au développement d'une faune plus diversifiée. La station O4 est localisée dans une zone où les activités agricoles et domestiques sont moins importantes avec une richesse taxonomique égale 44. L'algue filamenteuse du genre *Spirogyra* est bien développée, ce qui traduit une charge élevée en nutriments principalement les phosphates. Les stations O2 et O3 présentent la plus faible richesse taxonomique, avec 19 et 24 taxons respectivement. La pauvreté en espèces est due aux perturbations sous l'effet de plusieurs facteurs : activités industrielles et rejets domestiques (agglomération de Meknès et commune Ouislane et Dkhissa).

Tableau 6. Liste des macroinvertébrés benthiques récoltés (en 2010), leurs gammes d'abondance et les codes de chaque espèce (Oued Ouislane)

Espèces	Code de chaque Espèce	Stations Oued Ouislane				
		O1	O2	O3	O4	O5
<i>Polycelis felina</i>	E1	10				
<i>Potamodrilus sp.</i>	E2				7	
<i>Gordiace sp.</i>	E3			9		
<i>Glassiphonia complanata</i>	E4	6			8	4
<i>Hemiclepsis sp.</i>	E5	1				
<i>Helobdella sp</i>	E6				3	1
<i>Hirudo sanguisuga</i>	E7	8	9		7	15
<i>Hirudo medicinalis</i>	E8	2			2	9
<i>Trocheta sp.</i>	E9					2
<i>Nais christane</i>	E10		8			4
<i>Stylaria sp.</i>	E11		8	8	6	
<i>Enchytraeus sp.</i>	E12			11		
<i>Eiseniella tetraedra</i>	E13			3		
<i>Branchiura sowerbyi</i>	E14			5		7
<i>Aulodrilus limnobus</i>	E15		47	1	4	3
<i>Tubifex tubifex</i>	E16		57	43		
<i>Tubifex ignotus</i>	E17		38	64		
<i>Valvata piscinalis</i>	E18	24			13	
<i>Valvata minuta</i>	E19	4				3
<i>Valvata fagoti</i>	E20	2			4	
<i>Valvata globulina</i>	E21	5		4		19
<i>Valvata cristata</i>	E22	2				
<i>Viviparus vivipara</i>	E23	4				
<i>Viviparus fasciata</i>	E24				8	
<i>Bithynia tentaculata</i>	E25	34	6	11	14	7
<i>Bithynia leachi</i>	E26	5				
<i>Bithynia celtica</i>	E27	2	2			2
<i>Bythinella viridis</i>	E28	14			14	9
<i>Bythinella turgida</i>	E29	2				2
<i>Bythinella bicarinata.</i>	E30	7				
<i>Bythinella bervis</i>	E31				13	
<i>Potamopyrgus mercuria</i>	E32	31				
<i>Potamopyrgus confusa</i>	E33	25		17	26	21
<i>Hydrobia sp.</i>	E34	2				
<i>Neritina fluviatilis</i>	E35	13		3		7
<i>Neritina theodoxus</i>	E36					11
<i>Smaragdia viridis</i>	E37	4			2	
<i>Physa acuta</i>	E38	50			44	21
<i>Planorbis planorbis</i>	E39	16	6		11	
<i>Planorbis metidjensis</i>	E40	3				
<i>Gyraulus laevis</i>	E41	2			2	
<i>Acroloxus lacustris</i>	E42	5				3
<i>Succinea debilis</i>	E43	5				
<i>Lymnaea peregra</i>	E44	39			13	
<i>Lymnaea truncatula</i>	E45	13		8	21	14
<i>Lymnaea stagnalis</i>	E46	2				
<i>lymnaea sp.</i>	E47	3				
<i>lymnaea palustris</i>	E48				4	
<i>Melanopsis praemorsa</i>	E49	52	7	24	29	20
<i>Melanopsis scalaris</i>	E50	22				

<i>Melanopsis costellata</i>	E51	26	14	36	18	12
<i>Ancylus fluviatilis</i>	E52	3				
<i>Unio durieui</i>	E53	5				
<i>Unio cygnea</i>	E54	5				
<i>Margaritana margaritife</i>	E55	8				
<i>Gammarus gauthieri</i>	E56	14				
<i>Gammarus rouxi</i>	E57	4				
<i>Leptestheria mayeti</i>	E58	38	4	11	14	
<i>Hydrometra stagnorum</i>	E59	11			3	5
<i>Hebrus Curtis</i>	E60	3			3	
<i>Mesovelgia fureatu</i>	E61	2			7	6
<i>Gerris fabricicus</i>	E62			6		
<i>Nepa cinerea</i>	E63	12	3		9	10
<i>Nepa linearis</i>	E64	3				
<i>Plea leachi</i>	E65	7			4	4
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	E66	3			2	
<i>Ghomphus sp.</i>	E67	3				
<i>Calopteryx sp.</i>	E68					4
<i>Platycnemis subdilatata</i>	E69	3				
<i>Perla sp.</i>	E70	1				2
<i>Ephemera glaucop</i>	E71	7				5
<i>Ephoron virgo</i>	E72	3				
<i>Oligoneuriella skour</i>	E73	8				7
<i>Rhithrogena sp.</i>	E74	2				
<i>Caenis luctuosa</i>	E75	2				6
<i>Baetis fuscatus</i>	E76	7			8	
<i>Baetis muticus</i>	E77	4				7
<i>Baetis rhodani</i>	E78	3				
<i>Ephemerella ignita</i>	E79	4			10	
<i>Proclonia sp.</i>	E80	3				4
<i>paraleptophlebia sp.</i>	E81	3				
<i>Choroterpes pictéti</i>	E82	1				
<i>Chironomus sp.</i>	E83	12	12	24	35	26
<i>Chironomus halophilus</i>	E84	2	6	11	12	4
<i>Corynoneura sp.</i>	E85			2	2	5
<i>Tanytarsus sp.</i>	E86	4				
<i>Chaoborus crystallinus</i>	E87	3			3	
<i>Eristalis sp.</i>	E88		4	5		3
<i>Simulium sp.</i>	E89				4	
<i>Hemerodromia todrhana</i>	E90					4
<i>Rhyacophila sp.</i>	E91	3				
<i>Ecnomus deceptor</i>	E92	5				
<i>Hydroptila sp.</i>	E93	2				
<i>Agapetus sp.</i>	E94	1				
<i>Dryops sp.</i>	E95	2			3	
<i>Agabus nebulosus</i>	E96	2	3			8
<i>Hydrochus sp.</i>	E97	2				
<i>Gyrinus urinator</i>	E98			8	9	6
<i>Elmis maugetii</i>	E99	3		3	2	3
<i>Halipus sp.</i>	E100				5	
<i>Hdreana sp.</i>	E101				4	6
<i>Laccobius gracilis</i>	E102					4
<i>Limnebius sp.</i>	E103	3			6	2
<i>Coelostoma sp.</i>	E104	5				4
<i>Hygrobia tarda</i>	E105	3				3

Tableau 7. *t-test à partir des comparaisons des valeurs moyennes ($\pm$ Écart-type) de la richesse spécifique (RS), indices de diversité (Shannon-Weaner (H') Indice d'Équitabilité (E)) et indice biotique (IBGN) entre les stations d'échantillonnages*

Stations Indices de qualité	O1	O2	O3	O4	O5	Signification
Richesse taxonomique (RS)	79	19	24	44	47	****
Indice biotique : IBGN	18 $\pm$ 1.18	6 $\pm$ 0.51	8 $\pm$ 0.41	12 $\pm$ 0.71	15 $\pm$ 0.67	$P<0.001$
Shannon-Weaner (H')	1.35 $\pm$ 0.11	0.74 $\pm$ 0,12	0.88 $\pm$ 0.11	1.18 $\pm$ 0.2	1,25 $\pm$ 0.21	$P<0.001$
Indice d'Équitabilité (E)	0.71 $\pm$ 0.19	0.58 $\pm$ 0.1	0.63 $\pm$ 0.11	0.72 $\pm$ 0.13	0.75 $\pm$ 0.18	$P<0.001$

Les résultats de l'indice biotique (IBGN) (Tableau 7) indiquent que la qualité des eaux de l'Oued Ouislane varie faiblement entre les deux stations (O2=6 et O3=8). Alors qu'à partir de la station O4 l'augmentation des valeurs de l'I.B.G.N est remarquable. La station O4 est caractérisée par la présence d'une légère amélioration de la qualité des eaux par apport aux stations O2 et O3, ceci serait dû à la capacité auto-épuratrice de l'Oued Ouislane entre les stations O3 et O5. Les valeurs de l'IBGN permettent de classer l'eau des stations O1 et O5 dans la catégorie des eaux de qualité bonne à très bonne. Les valeurs très élevées de l'IBGN sont expliquées par les grands nombres de groupes indicateurs et par la variété taxonomique importante. La station O4 est classée parmi les points d'eau de qualité moyenne. Par ailleurs les stations (O2) et (O3) dont l'IBGN ne dépasse pas 8 ont des eaux appartenant à la classe médiocre. Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par les faibles valeurs des groupes indicateurs et de la variété taxonomique dans ces stations résultat de la dégradation de la qualité des eaux dans ces stations par l'évacuation directe des rejets des eaux usées dans le milieu récepteur.

Les variations importantes de la diversité spécifique reflètent les différences de répartition de l'abondance des taxons. Les deux indices (Shannon-Wiener (H') et de l'Équitabilité (E)) présentent la même tendance (Tableau 7). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station (O1) et (O5). Les deux stations présentent un peuplement bien diversifié où plusieurs taxons sont numériquement représentés (richesse taxonomique). L'indice de Shannon-Wiener est élevé lorsque la richesse taxonomique est importante et la répartition des individus entre taxons est équilibrée. Un peuplement moins diversifié avec des espèces dominantes se traduit par des faibles valeurs de cet indice [47]. Dans la station O4, il y a une augmentation de l'indice de Shannon-Wiener et l'Équitabilité par rapport à la station O3, ceci est vraisemblablement dû à la réapparition des espèces polluo-sensibles (à cause de la capacité auto-épuratrice du cours d'eau entre les stations O3 et O5). Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les stations (O2) et (O3), ceci serait dû à la présence d'une communauté déséquilibrée et très spécialisée représentée par un petit nombre de taxons (Oligochètes) qui sont développés au détriment d'autres taxons disparus. Ces faibles valeurs des indices de diversité, suggèrent la détérioration de la qualité des eaux au niveau de ces stations. En effet, elle entraîne la disparition de certaines espèces polluo-sensibles. La présence des oligochètes indique que le sédiment est riche en matière organique et des agglomérats de bactéries filamenteuses [48]. Selon Carter [49] les oligochètes remplacent les diptères au fur et à mesure que la pollution organique augmente [50], [51]. La faune benthique récoltée dans l'ensemble des stations de l'Oued Ouislane est représentée par un nombre important des taxons en comparaison à celle rapporté par les travaux de Badri [52], sur l'Oued Tensift du haut Atlas, Dakki [53], sur le haut Sebou, El Agbani, [54] sur l'Oued Bou Reg- reg qui contiennent une richesse taxonomique très élevée à l'échelle méditerranéenne.

3.2.3 ANALYSE BIOTYPOLOGIQUE

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) d'Oued Ouislane est présentée à la figure 6. Le tableau 6 représente la matrice de données et les codes de chaque espèce. Le pourcentage d'inertie des deux premiers axes (plan F1XF2) totalise près de 76.5 % de l'information.

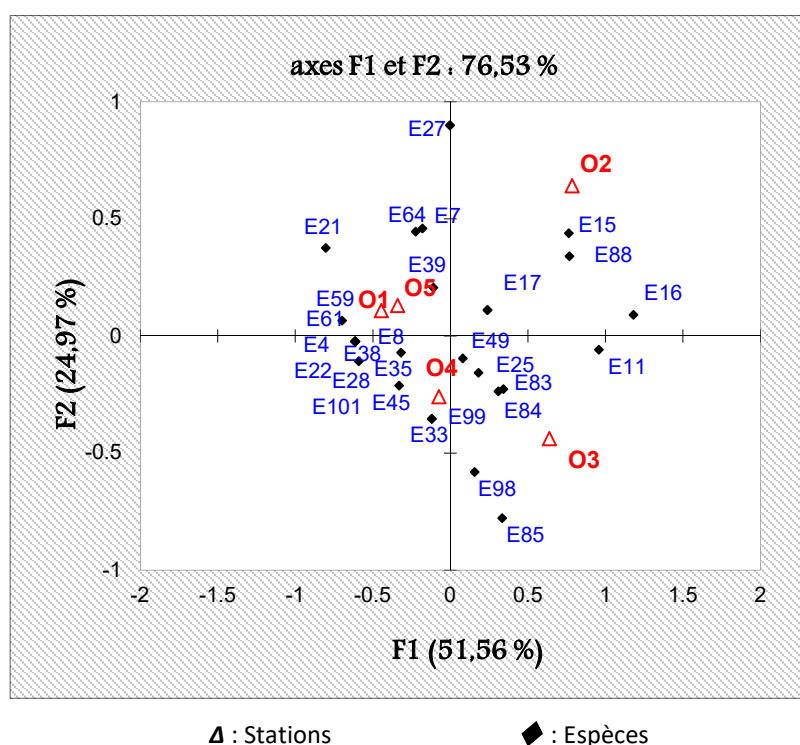


Fig. 6. Biotypologie de l'oued Ouislane en 2010 et structure du nuage stations-espèces sur le plan (F1 x F2) de L'A. F.C.

Les résultats (Figure 6) montrent que les espèces qui contribuent remarquablement dans la constitution de l'axe F1 sont : *Aulodrilus limnobus* (E15), *Tubifex tubifex* (E16), *Tubifex ignotus* (E17), *Stylaria sp.* (E11) et *Eristalis sp.* (E88). Le premier facteur F1 reflète l'importance relative de cinq espèces. Ces derniers caractérisent les stations O2 et O3, correspondant aux stations les plus polluées (riche en matières organiques) et coordonnées positivement sur la composante 1, par contre les espèces : *Hydrometra stagnorum* (E59), *Mesovelgia fureatu* (E61), *Physa acuta* (E38), *Hirudo medicinalis* (E8), *Glossiphonia complanata* (E4) sont corrélées négativement sur l'axe F1. La station O1 possède une forte contribution avec cet axe et à degré moindre la station O5. Sur l'axe F2, les plus fortes contributions sont dues à des espèces *Agabus nebulosus* (E94), *Hirudo sanguisuga* (E7), *Nepa cinerea* (E64), *Planorbis planorbis* (E39), *Potamopyrgus confusa* (E33), *Elmis mangetti* (E99), *Gyrinus urinatar* (E98), *Corynoneura sp.* (E85). Les autres espèces n'ont qu'une influence très faible dans le plan 1-2.

3.3 DISCUSSION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET DES INDICES BIOLOGIQUES

La corrélation de Pearson a permis de mettre en évidence une certaine relation entre la qualité des eaux et les métriques descriptrices de la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques (**Tableau 8**). Une corrélation négative et significative a été observée entre les métriques (RS, IBGN, H') et la température, MES, la conductivité électrique, BDO5 et DCO. Les trois indices de diversité (RS, indice biotique et H') ont été significativement influencés par MES, conductivité et $H_2PO_4^-$ (proportionnellement négatif $r \geq -0.81$) ($P < 0.001$) avec MES ($r = -0.86$, $r = -0.82$, $r = -0.84$), C.E ($r = -0.84$, $r = -0.90$, $r = -0.83$) and $H_2PO_4^{3-}$ ($r = -0.85$; $r = -0.80$, $r = -0.69$). En outre, la richesse taxonomique (SR) a été influencée négativement et significativement par la demande biologique en oxygène (DBO, $r = -0.69$, $P < 0.001$), la demande chimique en oxygène (DCO, $r = -0.71$, $P < 0.001$) (MES, $r = -0.86$, $P < 0.001$) et orthophosphate ($H_2PO_4^{3-}$; $r = -0.85$, $P < 0.001$). Ceci montre l'impact des activités anthropogéniques sur la survie des espèces tandis que l'indice biotique (IBGN) était significativement et positivement corrélé avec l'augmentation de l'oxygène dissous (O2: $r = 0.92$, $P < 0.001$) qui favorise l'existence des espèces.

Tableau 8. Valeurs des coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres physicochimiques et les différentes métriques des macroinvertébrés benthiques de l'Oued Ouislane en 2010

	O ₂	M.E.S	T°	DBO5	C.E	DCO	H ₂ PO ₄ ³⁻
Richesse spécifique (RS)	0.92***	- 0.86***	- 0.57**	- 0.69***	- 0.84***	- 0.71***	- 0.85***
Indice biotique : IBGN	0.92***	- 0.82***	- 0.63**	- 0.60**	- 0.90***	- 0.62***	- 0.80***
Shannon-Weaner (H')	0.84***	- 0.84***	- 0.69***	- 0.57***	- 0.83***	- 0.24*	- 0.69***
Indice d'Equitabilité (E)	- 0.68***	0.62***	0.45**	0.42***	0.73***	0.21*	0.52***

M.E.S : matières en suspension ; O₂ : oxygène dissous ; DBO5 : demande biologique en oxygène en 5 jours ; DCO : demande chimique en oxygène ; H₂PO₄³⁻ : orthophosphates ; T° : température ; C.E : Conductivité électrique. Coefficients de corrélation (r) et leurs niveaux de signification (* P<0.05; ** P <0.01; *** P <0.001).

Les données physicochimiques et la présence /ou l'absence des macroinvertébrés benthiques dans les stations sont indiquées en fonction d'une combinaison d'influences naturelles et anthropiques [55]. L'hydrologie de la rivière le long du bassin pourrait être modifiée, mais le facteur le plus important dans la modification de la distribution des macroinvertébrés benthiques est les intrants anthropiques [56]. En plus des effluents urbains, les rejets industriels et les pesticides agricoles pourraient avoir de fortes influences sur les macroinvertébrés benthiques et entraîner de fortes variations dans leurs assemblages. Ces organismes ont différents niveaux de sensibilité à la pollution et de nombreux facteurs abiotiques dans l'écosystème fluvial [57]. Les stations O2 et O3 étaient dominées par *Aulodrilus sp.* et *Tubifex sp.* (Oligochètes), ces espèces de vers sont connues par leur capacité de tolérance des conditions défavorables telles que les faibles concentrations d'oxygène dissous et les concentrations élevées de polluants [58] [59]. Par exemple, une forte densité d'oligochètes est une bonne indication de la pollution organique [60]. Harrell et Smith [61] ont trouvé des preuves qu'un certain enrichissement organique à la rivière était indiqué par la dominance de *Tubifex* et une diminution des concentrations d'oxygène. Les trichoptères sont des bioindicateurs potentiels pour l'écosystème propre puisqu'ils peuvent être trouvés à la station propre en amont (station O1) de l'Oued Ouislane. Les éphéméroptères sont considérés comme sensibles au stress environnemental et leur présence signifie des conditions relativement propres [62]. La densité des espèces d'une population individuelles peut varier pour une grande variété de raisons [63], [64], indiquant les variations naturelles des facteurs biotiques et abiotiques de la rivière Ouislane. La variation naturelle des conditions fluviales a également joué un rôle majeur dans la structure de la communauté des macroinvertébrés [65]. Sur la base de l'analyse de régression multiple, la MES, la DCO et DBO5 étaient trois paramètres physicochimiques identifiés comme altérant la communauté des macroinvertébrés benthiques.

Enfin, l'absence des macroinvertébrés benthiques sensibles et la présence de *Tubifex sp.* a permis de classer les stations O2 et O3 comme «polluées» en utilisant la grille de la qualité des eaux superficielles (SEQ-Eau, Version 2). Ceci est en accord avec le rapport de l'Agence de Sebou en 2019, [66] selon lequel les rivières dans le bassin étaient généralement propres en amont et polluées à cause des déchets urbains et des activités agricoles en aval. Cela a renforcé notre point de vue écotoxicologique selon lequel les activités anthropiques ont contribué aux changements dans la répartition des macroinvertébrés benthiques oued Ouislane. Gray [67] a résumé les réponses en trois catégories distinctes: réduction de la diversité, domination accrue d'un seul ou d'un groupe d'espèces opportunistes et réduction de la taille individuelle. Les deux premiers ont été montrés par les données macroinvertébrées benthiques de la station O2 et O3 de la rivière Ouislane. Il est important que les autorités réglementaires mettent en place une stratégie adéquate pour surveiller, réglementer et protéger cet écosystème fluvial.

4 CONCLUSION

Notre étude a montré que les stations de l'Oued Ouislane le moins perturbées par les activités anthropiques présentent une richesse taxonomique et une structure faunistique très variée. Par contre les stations au niveau de l'agglomération de Meknès sont très dégradées (disparition des espèces les plus sensibles) et une perte rapide de la biodiversité des écosystèmes aquatiques de la région de Meknès. Certaines espèces sensibles (Trichoptères) et résistantes (*Tubifex sp.*) sont identifiées comme des bioindicateurs potentiels de l'écosystème aquatique. L'analyse biotypologique montre que les indices de richesse et de diversité étaient généralement influencés par la demande chimique en oxygène et la matière en suspension (MES), la demande biologique en oxygène. Cette étude a également mis en évidence les impacts des activités anthropiques sur la répartition et la diversité des macroinvertébrés benthiques. Enfin, les données obtenues dans cette étude ont appuyé l'utilisation du concept de bioindicateurs (Innovation Biotechniques pour la Biosurveillance la qualité de l'eau) pour les rivières de l'Afrique du Nord.

REFERENCES

- [1] Heejun C. (2008). Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea *Water Research* 42; 3285 – 3304.
- [2] Wagner, R.J., Katarzyna J. et al., (2009). Ecohydrological system solutions to enhance ecosystem services: the Pilica River Demonstration Project. *International Journal of Ecohydrology and Hydrobiology* Vol 9, No 1, 2009.
- [3] United Nations (1992) Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Resolutions Adopted by the Conference. Vol. 1. United Nations, Rio de Janeiro.
- [4] P.D.M. (2004) Plan Directeur Wilaya de Meknès. Rapport, Genève, 180 p.
- [5] Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. and Usseglio-Polatera, P. (2000) Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, Ecologie. CNRS. Editions, Paris, 588.
- [6] Arienzo, M., Adamo, P., Bianco, M.R. and Violante, P. (2001) Impact of Land Use and Urban Runoff on the Contamination of the Sarno River Basin in Southern Italy. *Water, Air, & Soil Pollution*, 131, 349-366. <https://doi.org/10.1023/A:1011908019933>
- [7] Ogbeibu, A.E. and Oribhabor, B.J. (2002) Ecological Impact of River Impoundment Using Benthic Macro-Invertebrates as Indicators. *Water Research*, 36, 2427-2436.
- [8] Statzner B. et Bêche L.A., (2010). Can biological invertebrate traits resolve effects of multiple stressors on running water ecosystems? *Fresh water Biology*, n°55, pp.80-119.
- [9] Woodcock T.S. et Huryn A.D., (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, n° 52, pp. 177-196.
- [10] Bo T., Fenoglio S., Malacarne G., Pessino M. et Sgariboldi F., (2007). Effects of clogging on stream macroinvertebrates: An experimental approach. *Limnologica-Ecology and Mangement of Inland Waters*, n° 37, pp. 186-192
- [11] Bilotta G.S. et Brazier R.E., (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, n°42, pp. 2849-2861.
- [12] Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P. et Jones I., (2011). The impacts of fine sediment on riverine fish, Hydrological Processes, *Published online in Wiley Online Library*.
- [13] Nedeau, E.J., Merritt, R.W. and Kaufman, M.G. (2003) The Effect of an Industrial Effluent on an Urban Stream Benthic Community: Water Quality vs. Habitat Quality. *Environmental Pollution*, 123, 1-13.
- [14] Sylvestre, S., Fluegel, M., & Tuominen, T. (2005) Évaluation des populations d'invertébrés benthiques dans certains cours d'eau du bassin de Georgia à l'aide de l'approche des conditions de référence : extension du programme de surveillance des invertébrés du Fraser – 1998-2002. Environnement Canada, Initiative de l'écosystème du bassin de Georgia, *Rapport EC/GB/04/81*.
- [15] Moisan, J., (2006). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, *ISBN-13 : 978-2-550-48518-6 (PDF), ISBN-10 : 2-550-48518-1 (PDF) - 82 p*
- [16] P.D.M. (2004) Plan Directeur Wilaya de Meknès. *Rapport*, Genève, 180 p.
- [17] Rodier J., Legube B., Merlet N., (2009). L'analyse de l'eau. Paris, Dunod, 9e édition, 1579 p.
- [18] Association française de normalisation (AFNOR) *NF/Environnement-1992*.
- [19] Baroudi, M. (1984) Contribution à l'étude des oligochètes, étude taxonomique de quelques genres d'enchytraïda, étude faunistiques des oligochètes aquatiques du Maroc. Thèse 3° cycle Univ. Moulay Ismail Fac. Sci. Meknès.
- [20] Lafont, M. (1983). Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. 3: Annélides Oligochètes. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 52, 108-135. <https://doi.org/10.3406/linly.1983.10583>
- [21] Amors, C. (1984). Crustacés, Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 53-63.
- [22] Ramdani, M., Dakki, M., Kharboua, M. and EL Aagbani, A. (1987) . Les Gastéropodes dulcicoles du Maroc, inventaire commenté. *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, 11, 135.
- [23] Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. and Usseglio-Polatera, P. (2000). Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, Ecologie. CNRS Editions, Paris, 588.
- [24] Aguesse and Dakki (1982). Les Odonates de l'Europe Occidentale, du Nord de l'Afrique et des Iles Atlantiques. *Masson Cie*, Paris, 258 p.
- [25] Vigneux, E., Keith, P., Noel, P.Y., et al. (1993) Atlas préliminaire des Crustacés Décapodes d'eau douce de France. *Patrimoines Naturels*, 14, 1-56.
- [26] Berrahou, A., Cellot, B. and Richter, P. (2002). Les macroinvertébrés benthiques de la Moulouya (Maroc). *Bull. Ecol.*, 223-234.

- [27] Bouzidi, A. (1989). Recherches hydrobiologiques sur le cours d'eau des massifs du Haut-Atlas. Bioécologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements. Doctorat d'état Uni. Aix-Marseille, fac. Sci. Tech. Sai-Jérôme, 190 p.
- [28] Vergon, J.-P. and Bourgeois, C. (1993) Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales francaises 10: Diptères chironomides (larves aquatiques) T. 1: Caractères généraux, sousfamilles et tribus. *Bull. Mens. Soc. Linn.* Lyon, 62, 101-132.
- [29] Dakki, M. (1992) Etude National sur la biodiversité Faune aquatique continentale (Invertébrés et Poissons) Projet PNUF/GEF/6105-92, 121.
- [30] Beauger, A. (2008). Bio-évaluation de la qualité de l'eau: établissement d'un protocole d'échantillonnage simplifié, basé sur la collecte des macroinvertébrés benthiques sur les seuils des rivières à charge de fond graveleuse. Biodiversité et Ecologie. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II; Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2008. Francais. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00730658/document>.
- [31] Chahlaoui, A., Cugny, P., Lek, S., Zaid, A. and Ramdani, M. (1997). Analyse quantitative de la qualité de l'eau de l'oued Boufekrane (Maroc). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 131, 71-76
- [32] Vega, M., Pardo, R., Barrado, E. and Deban, L. (1998). Assessment of Seasonal and Polluting Effects on the Quality of River Water by Exploratory Data Analysis. *Water Research*, 32, 3581.
- [33] Vidal, M., Lopeza, A., Santoalla, M.C & Valles, V. (2000). Factor analysis for the study of water ressources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer, *Agricultural Water Management*, 45 (1), 1-15.
- [34] Brodnjak, D., Dobnik, D., Novi, M. and Zupan, J. (2002). Chemometrics charactersation of the Quality of River Water. *Analytica Chimica Acta*, 462, 87-100
- [35] Parinet, A., Boukari, S.O.B. and Adima, A. (2005) Evaluation de l'etat d'une eau de rivière par analyse multidimensionnelles utilisant certains paramètres caractéristiques de la matière organique dissoute. *Revue des sciences de l'eau*, 18, 133-163.
- [36] De Lagarde, J. (1995) Initiation à l'analyse de données. 3 ième Edition, Dunod, Paris.
- [37] Bournaud, M. and Keck, G. (1980). Les prélèvements de macroinvertébrés benthiques en tant que révélateurs de la physionomie d'une rivière. *Annls Limnologie*, 16, 55-75. <https://doi.org/10.1051/limn/1980009>
- [38] Gayraud S., (2002). Colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* Pp.339 – 355.
- [39] Gayraud S., (2001). Les sédiments du lit des cours d'eau : quantification de leur influence sur les peuplements de macroinvertébrés par une approche multi-sites. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard-Lyon 1, 215p
- [40] Woodcock T.S. et Huryn A.D., (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, n° 52, pp. 177-196.
- [41] Mumbé D.H.T., (2006). Etude minéralogique et propriétés physicochimiques de résidus argileux des sablières de Dschang : importance dans la céramique. Thèse de Master of Science, Université de Dschang, 66p.
- [42] Berrahou, A., Cellot, B. and Richter, P. (2002). Les macroinvertébrés benthiques de la Moulouya (Maroc). *Bull. Ecol.*, 223-234.
- [43] Mayer, P.M., Reynolds, S.K., McCutchen, M.D. and Canfield, T.J. (2006). Riparian Buffer Width, Vegetative Cover, and Nitrogen Removal Effectiveness: A Review of Current Science and Regulations. EPA/600/R-05/118. U.S. *Environmental Protection Agency*, Cincinnati. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=2000O182.TXT>.
- [44] Vega M., Pardo R, and Barrado E. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water res.*, 32 (12), 3581-3592.
- [45] Matthews, R., Buikema, A.L., Cairns, J. and Rodgers, J.H. (1982) Review Paper: Biological Monitoring. Part IIA—Receiving System Functional Methods, Relationships and Indices. *Water Research*, 16, 129-139.
- [46] Maqboul, A., Aoujdad, R., Fekhaoui, M. & Touhami, A. (2001). Caractérisation biocénotique et biotypologique de la faune malacologique dulcicole de la plaine du Gharb (Maroc). *Riv. Idrobiol.*
- [47] Pinel-Alloul, M.G., Lapiere, L. and Willsie, A. (1996) Macrobenthic Community as a Biological Indicator of Ecological and Toxicological Factors in Lake Saint-Francois (Quebec). *Environmental Pollution*, 91, 65-68.
- [48] Marty, A. & Calvel, P. (1985). Qualité de l'eau de la Loire en haute -Loire .Effets des extractions d'agrégats sur la qualité et la productivité du milieu .*Ann .Hydrobiol.*, 7 :45.
- [49] Carter, C.E. (1988) the funa of the muddy sediment of lough neagh , with parcticular reference to eutrophication . *Fresh water boil.*, 8 (6) :547-559.
- [50] Zirirane D., Bagalwa J.J, Isumbisho M., Mulengezi M., Mukumba I., Bora M., Mucheso J.M., Lukamba A., Iragi G., Ireng B., Kibangu F. et Kamangala R. (2014). Évaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, URL : <http://vertigo.revues.org/15365> ; DOI : 10.4000/vertigo.15365.

- [51] Tshijik J-C. K., Akaike D., Micha J-C. et Pwema V.K., (2016). Analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge à Kinshasa. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, n°16, pp. 260-27.
- [52] Badri, A. (1993). Influence des crues sur les écosystèmes lotique du haut Atlas: (étude des perturbations et des mécanismes de recolonisation à travers les peuplements des algues et d'invertébrés. *Thèse d'Etats; Univ Cadi Ayad. Marrakech*, 384p.
- [53] Dakki, M. (1986) Biotypologie et gradient thermique spatiotemporel, étude sur un cours d'eau du Moyen Atlas (Maroc). *Bull. Ecol.*, 17 :79-85
- [54] El Agbani, A., Dakki, M. & Bournaud, M. (1992) Etude typologique du Bou Regreg (Maroc) : le milieu aquatique et leur peuplement en macroinvertébrés. *Bul, Ecol*, 23 :103-113.
- [55] Christensen, V.G., Lee, K.E., McLees, J.M. and Niemela, S.L. (2012) Relations between Retired Agricultural Land, Water Quality, and Aquatic-Community Health, Minnesota River Basin. *Journal of Environmental Quality*, 41, 1459-1472. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2011.0468>
- [56] Resh V.H., (2008). Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environmental Monitoring and Assessment* n°138, 131
- [57] Essahale, A. and Karrouch, L. (2015) Contribution to the Study of Oil Mills Impact on the Environment in el hajeb Province. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 76,355-365. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1775878515001617>.
- [58] Brinkhurst, R.O. (1967). The Distribution of Aquatic Oligochaetes in Saginaw Bay, Lake Huron. *Limnology and Oceanography*, 12, 137-143. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.1.0137>
- [59] Parinet, A., Boukari, S.O.B. and Adima, A. (2005) Evaluation de l'état d'une eau de rivière par analyse multidimensionnelle utilisant certains paramètres caractéristiques de la matière organique dissoute. *Revue des sciences de l'eau*, 18, 133-163
- [60] Slepukhina, T.D. (1984). Comparison of Different Methods of Water Quality Evaluation by Means of Oligochaetes. *Hydrobiology*, 115, 183-186. <https://doi.org/10.1007/BF00027914>
- [61] Harrel, R. and Smith, S. (2002). Macrobenthic Community Structure before, during and after Implementation of the Clean Water Act in the Neches River Estuary (Texas). *Hydrobiologia*, 474, 213-222. <https://doi.org/10.1023/A:1016596123558>
- [62] Bustos-Baez, S. and Frid, C.C. (2003). Using Indicator Species to Assess the State of Macro-Benthic Communities. *Hydrobiologia*, 496,299 309. <https://doi.org/10.1023/A:1026169520547>
- [63] Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macro-Invertebrates and Fish. 2nd Edition, Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington DC, EPA-841-B-99-002.
- [64] Kerans, B.L., Karr, J.R. and Ahlstedt, S.A. (1992). Aquatic Invertebrate Assemblages: Spatial and Temporal Differences among Sampling Protocols. *Joun. of the North American Benthological Society*, 11, 390. <https://doi.org/10.2307/1467559>.
- [65] Mucha, A.P., Vasconcelos, M.T.S.D. and Bordalo, A.A. (2004) Vertical Distribution of the Macrobenthic Community and Its Relationships to Trace Metals and Natural Sediment Characteristics in the Lower Douro Estuary, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59..
- [66] Agence de Sebou .MCI, 2009. Ministère du Commerce et de l'Industrie, Direction Générale de l'Industrie, Etude de l'impact des rejets industriels sur la qualité des eaux de l'oued Sebou, rapport de synthèse. Scandia consults International AB, Juillet 2009.
- [67] Gray, J.S. (1989). Effects of the Environmental Stress on Species Rich Assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37, 19-39. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1989.tb02003>.

EFFECT OF AUDIT COMMITTEE CHARACTERISTICS ON PERFORMANCE OF NON-FINANCIAL FIRMS: EVIDENCE FROM A RECESSED ECONOMY

HOPE IFEOMA ORJINTA AND IKUEZE NKEM EVELYN

Department of Accountancy,
Chukwuemeka A Odumegwu Ojukwu University, Nigeria

Copyright © 2018 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 paper examined the effect of audit committee characteristics on performance of selected non-financial firms quoted in Nigerian Stock Exchange. A sample of 50 listed firms was used for the period 2007 to 2016. The study was predicated on ex post facto and cross-sectional research design and used secondary data for the analysis. The data collected were analyzed using descriptive statistics, Pearson correlation analysis and Ordinary Least Square regression. The result revealed that there is a significant positive relationship between audit committee independence, audit committee meeting and firm performance at 5% level of significant while a positive significant association was also recorded against audit committee size and return on assets but at 10% level of significant while an insignificant and positive relationship was observed between audit committee qualification and return on assets of non-financial firms in Nigeria. The findings showed that 76% of changes in the performance of non-financial firms can be attributed to the audit committee characteristics while 24% were unaccounted for hence captured by the stochastic error term. The study recommends among others, that non-financial firms' directors should be constituted by independent persons with high level of integrity that can match words with action to improve performance of non-financial firms and also enable them perform their oversight functions effectively and ensure that audit committee members meet frequently in order to tackle important issues that might hinder organizational performance more especially in this era of economic recession.

KEYWORDS: Audit committee independence, audit committee size, committee meeting, financial qualification and return on asset.

1 INTRODUCTION

The corporate scandals such as Enron, Global Crossing, Tyco, and World Com have shaken the Investors' confidence and made it difficult for companies to raise equity from the stock market (Agrawal, 2005). In commenting on these scandals, many reports believed that the board of directors and its committees do not have a good supervision on the management. Kojola (2008) asserts that financial scandals around the world and the recent collapse of major corporate institutions like Enron, WorldCom, Satyam, South East Asia, Europe and Nigeria have shaken investor's faith in the capital markets and the efficacy of existing corporate governance practices in promoting transparency and accountability. Good corporate governance like audit characteristics is an important step in building market confidence and encouraging more stable, long-term international investment flows (Bergstresser & Philippon, 2006). For example, Enron manipulated its financial statements through off - position statement financing. Therefore, the board was unable to disclose the distorted statements because the board lacked certain qualifications and independence from senior executives (Deakin and Konzelmann, 2004). Moreover, World Com materially overstated its earnings and finally filed for bankruptcy. The investigation showed that the audit committee failed to effectively oversee the managers duties (Weiss, 2005). Consequently, these well-publicized corporate scandals together with the Nigerian economic recession crisis recently have highlighted the importance of good corporate governance practices for the long-term survival of companies (Mustapha, Daud & Muhamad, 2009). There have been massive fraud and unethical practices within and among a number of organizations in Nigeria. The recent insider trading, massive and prevalent fraud, due to corrupt practices and inefficient rubber stamped board has combined to the absence or failure of the existing firm

performance. The events have serious devastating effect on stakeholders in terms of losses in their investment. The events also resulted in the loss of hundreds of jobs especially in the non financial sector and drastic drop in the share price of most listed companies on the Nigeria stock exchange market. The shock to the stakeholders and the public led to the yet unanswered question of “how” such event could have happened when companies were declaring billions of naira in profit. Therefore, the trust which investors had on the credibility and the quality of financial report presented by the management of the companies could no longer be sustained as they were considered misleading. Hence, a higher need to protect stock holders interest so as not to have another overwhelming shock becomes imperative. The importance of an audit committee is increasingly being acknowledged in the literature, yet very little work has been done on board committees in emerging economies.

The literature on effect of audit committee characteristics on firm performance in an emerging and recessed economy like Nigeria is scarce. Thus, it is needful to conduct this study in the Nigerian context to investigate the role of audit committee as it relates to the concept of interest bearing in mind the current economic recession being experienced in Nigeria where several quoted firms are facing cash crush challenges which is adversely affecting their operations. Even the few prior studies that examined effect of audit committee characteristics on firm performance found mixed results and therefore have inconsistent results. For example, Bansal and Sharma (2016) studied audit committee, corporate governance and firm performance in India and found no effect between audit independence and firm performance but found positive effect between audit committee size and firm performance while Gabriela (2016) found audit committee independence to be negatively correlated with firm performance and Salisu and Nur Ashikin (2016) examined the impact of audit committee attributes on the performance of financial companies in Malaysia and found significant positive relationship between audit committee independence and firm profitability. These are some evidence of contradictions of previous research. It is therefore evident from the above studies that prior researchers have not established a clear cut direction of the effect of audit committee characteristics on firm performance. These prior studies depicts mixed results and inconclusive findings, hence there exists a knowledge gap. To the best of our knowledge, the uniqueness of this research over other prior studies is that audit committee independence, audit committee size, audit committee meeting and qualification in relation to firm performance have not been examined in the past by prior research in Nigeria. Moreover, most of the literature has selected only two to four years to explain the effect and this has not provided a beneficial explanation. However, using a longer period of time and expand the scope of research by examining non-financial firms as no study in Nigeria has ever studied non-financial firms as this research will help to provide a more in-depth explanation which could lead to more accurate findings. We extend the work that has alluded to the importance of the characteristics of audit committee(independence, size, meeting and audit qualification) with several unexplored, yet crucial, attributes represented in audit committees and additionally theorize and test how these audit committee characteristics play a role in an emerging economy context. This is the void the present study intends to fill. Therefore, there is need to ascertain the effect of audit committee characteristics (independence, size, meeting and audit qualification) as the independent variables and decomposes firm performance as dependent variable with the aim of ascertaining the effect of audit committee characteristics on performance of non-financial firms in Nigeria for the smooth and sustainable economic growth. Against this background, the following objectives were raised to guide this study.

- To ascertain the effect of audit committee independence on return on assets of non-financial firms.
- To investigate the effect of audit committee size on return on assets of non-financial firms.
- To determine the effect of frequency of audit committee meetings on return on assets of non-financial firms.
- Ascertain the effect of audit committee qualifications on return on assets of non-financial firms.

2 REVIEW OF RELATED LITERATURE

2.1 AUDIT COMMITTEE INDEPENDENCE AND FIRM PERFORMANCE

Bansal and Sharma (2016) studied audit committee, corporate governance and firm performance in India and found no effect between audit independence and firm performance. Gabriela (2016) analyses the effect of audit committee characteristics on firm performance of non-financial UK companies and found audit committee independence to be negatively correlated with firm performance. Salisu and Nur Ashikin (2016) examined the impact of audit committee attributes on the performance of financial companies in Malaysia and found significant positive relationship between audit committee independence and firm profitability. Murya (2010) argued that independence of the audit character was an important part of audit committee effectiveness. Xie, Davidson and DaDal (2003) states that the independent of the board and audit characteristics should be continuously maintained and reviewed at least annually and more often as necessary. Listed companies should have policies in place to facilitate timely identification of changing relationships or circumstances that may affect the independence of audit characteristics members. Abbott (2002) also found an inverse relationship between audit

committee independent and earning management. Arslan (2014); Bouaziz and Triki (2012), Nuryanah and Islam (2011); Yasser (2011) mentioned that independent audit committees improved the quality of audit reports and enhanced performance of firm.

2.2 AUDIT COMMITTEE SIZE AND FIRM PERFORMANCE

The size of an audit committee can have a positive impact on firm performance. This was supported by the empirical study of Bansal and Sharma (2016) that studied audit committee, corporate governance and firm performance in India and found positive effect between board size and firm performance. Gabriela (2016) analyzed the effect of audit committee characteristics on firm performance of non-financial UK companies and found audit committee size to have significant positive association with firm performance. Larger audit committees can be more effective as they are likely to include members with varied expertise to perform more intense monitoring of financial reporting practices (Baxter & Cotter, 2009). Deoliveira (2012); Fauzi and Locke (2012); Saibaba and Ansari (2012) and Ujunwa (2012) argued that a large audit size would bring more knowledge, visions, opinions and investment proposals that would ultimately benefit stakeholders. Hambrick (2008) asserted that smaller boards were incapable of making strategic changes due to their inefficiency in considering various alternatives for firm growth. On the other hand, numerous researchers favour smaller audits and are of the view that large audits lead to non-cooperation and waste of time in decision making as they suffer from social loafing. Thus, their knowledge and skills remain unutilized (Dharmadasa, 2014; Drakos, & Bekiris 2010; Jensen, 1993; Lin, 2011).

2.3 AUDIT COMMITTEE MEETING AND FIRM PERFORMANCE

Bansal and Sharma (2016) studied audit committee, corporate governance and firm performance in India and found no effect between audit committee meeting and firm performance. Gabriela (2016) analyzed the effect of audit committee characteristics on firm performance of non-financial UK companies and found frequency of audit committee meetings to have significant positive association with firm performance. The level of activity of an audit committee has been recommended as important to enhance its effectiveness in improving firm performance (Baxter & Cotter, 2009). Al-Mamum (2014) was of the view that regular meetings of audit committee could help reduce agency problems and information asymmetry of a firm by providing fair and timely information to investors. DeZoort (2002) suggested that a company where the audit committee meets more frequently was likely to be more careful in safeguarding the interest of its investors. Menon and Williams (1994) considered two audit committee traits (meeting frequency and independent) to ascertain if the board directly relied on audit committee as a tool to control managers and found that these two characteristics improved the monitoring of the firm and could thereby improve its performance. Several studies observing the relationship between audit committee meeting frequency and firm performance have given mixed results. Abdul and Haneem (2006) and Mohd (2007) provided evidence that lesser number of audit committee meetings improved financial performance of the firm as it reduced the additional cost that was incurred with every meeting, but Kyereboah (2008) established favorable outcome of frequent audit committee meetings on market measures of firm performance. Greene (2003) was of the view that regular meetings of audit characteristics could help reduce agency problems and information asymmetry of a firm by providing fair and timely information to investors. Cheu and Zhou (2004) noted that audit meetings serve as important mechanism for improving and promoting corporate governance in firms. There is likeliness that financial fraud would be reduced if the audit meets frequently and carry out its duties as required (Stewart & Munro, 2007). This frequency of audit meetings has also been observed to have a good effect on firm performance.

2.4 AUDIT COMMITTEE QUALIFICATION AND FIRM PERFORMANCE

Qin (2007) found that firm with higher quality of earning are more associated with audit committee members who have financial expertise. This position has also been confirmed in more recent studies. Bouaziz (2012) found that audit committee qualification has a significant effect on return on equity and return on asset. Iskandar (2009) suggested in its study that firm performance was tone down by audit committee qualification. Harrast and Olsen (2007) indicate that the audit committee gain significant clout under SOX and have greater power participate in the financial reporting process if their expertise has already been documented. Dofond (2005) claim that a positive market reaction to the appointment of financial experts assigned to audit committee is found however, there is no reaction to non-financial experts assigned to audit committees. Davidson (2004) show significant positive stock price reaction when new members of audit committees have financial expertise. Similarly, Dezoort (2001) have found that the amount of experience of audit committee members as well as their knowledge of auditing is positively associated with the likelihood that members support the listener in the discussion of the managerial firm. Song and Windram (2000), a high degree of financial literacy is necessary for an audit committee to effectively oversee a company's financial control and reporting. The role of an audit committee in overseeing accountability of the management covers a wide

scope to include the overall process of corporate reporting. This requires the audit committee to have accounting knowledge requirements. The need to comprehend the overall financial and non financial contents of corporate reports is greater considering that listed companies are operating as conglomerates with some having complex group structures and therefore, presenting technically advanced financial reporting contents. Financial literacy reduced fraud in corporate financial reporting.

3 EMPIRICAL STUDIES

Gabriela Zabojsnikova (2016) examined the impact audit committee characteristics on firm performance using evidence from non-financial firms listed on London Stock Exchange in UK from 2011 to 2015. The main findings of his study suggest that there is a significant positive relationship between the audit committee size, frequency of meetings and its financial performance. They also found audit committee independence to be negatively correlated with firm performance.

Bansal and Sharma (2016) examined the role of audit committee characteristics in improving firm performance. The study considered the role of audit committee characteristics (independence and frequency of meetings) in addition with other components of corporate governance (duality, promoter shareholding, board composition and board size) in firm performance. Fixed effect panel data regression was applied on 235 non-financial public limited companies listed in NSE 500. The time period considered was ten years (2004-2013). Their result revealed significant positive association of board size and CEO-chairman dual role with firm performance and their findings did not reveal any additional effect of audit committee independence and its meeting frequently on the financial performance of India firms.

Salisu and Nur Ashikin (2016) analysed the impact of audit committee attributes on the performance of finance companies in Malaysia in both period before and after the Malaysian Code on Corporate Governance (MCCG) was issued. The period covered 5years from 2007 to 2011. Their findings suggest a significant positive relationship between independent audit committee members and profitability while dual membership of directors on audit and nomination committee is significant and negatively related to profitability.

Abdullah, Qaiser, Ashikur, Ananda and Thurai (2014) studied relationship between audit committee characteristics, external auditors and economic value added (EVA) of public listed firms in Malaysia. They examine the association between audit committee characteristics and firm performance among public listed firms in Malaysia. Their study employed EVA as performance measurement tool. The sample is 75 firm year observations and covers fiscal years 2008-2010. The study found that audit committee independence is positively associated with firm performance while audit quality is negatively associated in Malaysia. Also audit committee characteristics have a positive effect on firm performance.

Allam, Adel and Sameh (2013), studied impact of audit committee characteristics on firm performance, evidence from Jordan. They investigated the relationship between audit committee characteristics (namely: audit committee size, financial experience and audit committee independence) on performance which includes financial, operating and stock performance. Their study sample contained 106 corporations from the financial sector listed in Amman stock exchange market with a total of 212 observations during the period 2008-2009 sample year. The result showed that the audit committee has an impact on financial and stock performance and also does not have an effect on operating performance.

Modum, Robinson and Edith (2013) examine audit committees and corporate performance of selected companies quoted in the Nigeria stock exchange: a perception analysis. They evaluate the relevance of the audit committee on corporate performance. It was discovered that the quality of audit committee rather than its mere existence impacts on the performance of companies through a positive impact on corporate governance of such companies.

Zied (2012) studied impact of the presence of audit committees on the financial performance of Tunisian Companies. They examine effect of audit committee characteristics at each of the endogenous variables taking into account the impact of firm size and the level of debt. Empirical validation was conducted on a sample of 26 Tunisian firms listed on Tunis stock exchange over a period which lasts 4 years (2007-2010).

Similar studies have also been carried out in the context of Nigeria (Oaikhenan & Udegbuma, 2008; Uwuigbe, 2011). These studies have focused on audit characteristics on financial performance of manufacturing firms in Nigeria.

Husam, Keith, Simone, Ray and Stepham (2011) studied audit committee characteristics and firm performance during the global financial crisis. Their analysis revealed that smaller audit committee with more experience and financial expertise is more likely to be associated with positive firm performance in the market. They also find that longer serving chairs of audit committees negatively impacts accounting performance.

Table 1. Webometric analysis of selected studies on the effect of audit committee characteristics on performance of non-financial firms

Author/Date	Topic	Methodology	Findings
Bansal and Sharma (2016)	Audit committee, governance and firm performance: empirical evidence from India	Fixed panel data regression method	Their result revealed significant positive association between board size, CEO-chairman dual role with firm performance while they found no effect between board independence and its meeting with firm performance.
Salisu and Nur Ashikin (2016)	Audit committee attributes and firm performance: Evidence from Malaysian finance companies	Multiple regression analysis	Their study examined the impact of audit committee attributes on the performance of finance companies in Malaysian Code of Corporate Governance (MCCG) covering period of 5 years from 2007 to 2011. They observed a significant positive relationship between independent audit committee members and profitability while dual membership of directors on audit and nomination committee is significant and negatively related to profitability.
Gabriela (2016)	Audit committee characteristics and firm performance: evidence from UK.	Multiple regression analysis	The study found that there is a significant positive relationship between the audit committee size, frequency of its meeting and its financial performance. The study also observed that audit committee independence was negatively correlated with firm performance and that longer serving chairs of audit committees negatively impacts accounting performance.
Okaro, Okafor and Oraka (2014)	Factors affecting audit committee quality in Nigeria.	Survey method.	The findings uphold the Nigeria security and exchange commission recommendation that an audit committee should have at least one financial expert in the team.
Ebrahim, Abdullah and Faudziah (2014)	The measurements of firm performance dimensions.	Econometric model and panel data.	The result show that performance measurement has great significance in effective management of an organization and in the enhancement of the processes since only measureable things is manageable.
Zied (2012)	Impact of the presence of audit committees on the financial performance of Tunisian companies.	Panel data.	The resulting shows the importance of the impact of the characteristics of the audit committee on the financial performance.
Modum, Robinson and Edith (2013)	Audit committees and corporate performance of selected companies quoted in the Nigeria stock exchange: a perception analysis.	Survey method.	The result reveals that the quality of audit committee rather than its mere existence impacts on the performance of companies through a positive impact on corporate governance of such companies.
Husam, Keith, Simone, Ray and Stephan (2011)	Audit committee characteristics and firm performance during the global financial crisis.	Simple regression analysis	Its findings revealed that longer serving chairs of audit committees negatively impacts accounting performance.
Juliana and Luiz (2012)	Toward a subjective measurement model for firm performance.	Co-integrated test analysis & error correction method	The findings shows that dimensions cannot be used interchangeable, since they represent different aspects of firm performance and corroborate the idea that stakeholders have different demands that need to be managed independently.
Laith (2014)	Relationship between audit committee characteristics, audit firm quality and companies' profitability.	Multiple regression model	The result showed positive relationships between audit committee meeting, audit committee size and companies profitability, while no significant relationship between audit committee composition, audit committee members literacy, audit and companies profitability.
Allam, Adel and Sameh (2013)	Impact of audit committee characteristics on the performance: evidence from Jordan.	Time series analysis method.	The result shows that the audit committee has an impact on financial and stock performance. It does not have an effect on operating performance.
Abdullah, Qaiser, Ashikur, Ananda and Thurai (2014)	Relationship between audit committee characteristics, external auditors and economic value added of public listed firms in Malaysia.	Multiple regression model	The result show that audit committee independence is positively associated with firm performance while audit quality is negatively associated in Malaysia.

4 METHODOLOGY

4.1 RESEARCH DESIGN

This study was ex- post facto in nature since it sought to investigate the effects of independent variables on the dependent variable after occurrence. Thus, ex post facto research design was used to describe the effects of audit committee characteristics on firm performance.

This study utilized secondary data as the main source of information and was sourced from the annual report and accounts of the various non-financial companies from 2007 to 2016.

4.2 DATA AND VARIABLE DESCRIPTION

The study bases its selection of variables on the theoretical proposition and evidence in the literature; two categories of variables were used; dependent and independent variables. The independent variables are audit independence, audit size, audit meeting and audit qualification while dependent variable is return on assets.

Table 2. Operationalization of variables

Variables	Measurement
Audit Committee independence (ACI)	Percentage of independent directors to total number of audit committee.
Audit Committee size (ACS)	Total number of audit committee members.
Audit Committee meetings (ACM)	Frequency of audit committee meeting held during the financial year
Audit Committee Qualification (ACQ)	Percentage of audit committee member with finance or accounting qualification
Returns on assets (ROA)	Profit before tax/total assets.

4.3 MODEL SPECIFICATION

The linear regression model used in this study is adapted from the prior studies of (Husam et al, 2011) and Laith (2014). Consistent with previous studies, this model modified and extended the model tested by prior studies and the ordinary least square was guided by the following linear model

$$Y = F[X_1, X_2, X_3, X_4,] \quad (1)$$

$$\text{Profitability} = F[\text{ACI}, \text{ACS}, \text{ACM}, \text{ACQ}] \quad (2)$$

Based on the above model, we specify the following regression equation

$$ROA_{it} = a_0 + a_1ACI_{it} + a_2ACS_{it} + a_3ACM_{it} + a_4ACQ_{it} + E$$

Where

ROA = Return on asset

ACS = Audit Committee Size

ACI = Audit Committee Independence

ACM = Audit Committee Meetings

AQ = Audit Committee Qualification.

ϵ = Stochastic error term capturing other unexplanatory variables

a = Constant

$a_1, a_2, a_3,$ and a_4 are the co-efficient of the regression equation.

Table 4.1. Descriptive statistic

Variables	Mean	Max	Min	Std.Dev	JB (p-value)	No of Obs.
ROA	32.901	78.012	27.308	21.031	0.0000	500
ACI	70.202	94.100	36.020	66.877	0.0003*	500
ACS	4.2103	6.0920	2.1090	03.709	0.0610**	500
ACM	26.915	30.812	4.5640	28.286	0.0200*	500
ACQ	48.5745	77.207	2.3780	09.602	0.6010	500

Source: Summary of researchers' computation (2017)

Note: *5% level of significance, **10% level of significance.

The descriptive statistics table above checks the normality distribution of all the variables by showing their mean, minimum, maximum values and Jarque–Bera (JB.) statistics. The study used data from 500 observations of annual reports from the Nigerian stock exchange for a period of ten years from 2007 to 2016. From the table, the proxy for firm performance which is the return on assets (ROA) has a mean value of 33% approximately with the standard deviation of 21%. The maximum ROA is 78% while the minimum is 27%. This means that all the quoted non-financial firms sampled in this study were characterized by positive ROA. On the same vein, the audit committee independence stood at mean value of 70 suggesting that 70% of audit committee members of firm under study are non-executive directors while 30% are executive directors. Similarly the mean value of audit committee size is 4.21 (4 members) with minimum of 2 members and maximum of 6 members. Again, audit committee manifested in the frequency of meetings indicates that on average additional one sitting of the members at a meeting improves firm performance. Furthermore, we observed on the average that audit committee in our sample is comprised of 48% accounting financial experts while the remaining audit committee members consist of non-accounting financial experts as basis of audit committee qualification.

Last but not the least, the Jarque- Bera (JB) statistics which test for normality or existence of outliers among the variables shows that the return on assets, audit committee independence and audit committee meeting are normally distributed at 5% level of significance while audit committee size is normally distributed at 10% level of significant. Audit committee qualification is not statistically significant. This means that there are no variables with outlier that are likely to distort the conclusion and therefore are reliable for drawing generalization.

4.4 CORRELATION ANALYSIS

Pearson's correlation matrix was applied to check the degree of association between audit committee characteristics component and firm performance so as to determine the nature of association i.e. positive or negative correlation and the significance of the relationship between dependent variable and independent variables.

The results of the correlation matrix is presented in Table 4.2

Table 4.2. Correlation Analysis

Variables	ROA	ACI	ACS	ACM	ACQ
ROA	1.000000				
ACI	0.349003	1.000000			
ACS	0.275017	0.502237	1.000000		
ACM	0.224038	-0.336469	0.294336	1.000000	
ACQ	0.296323	0.398398	0.72509	0.352944	1.000000

Source: Summary of researchers' computation (2017)

The correlation matrix as shown above in table 4.2 reveals that all the independent variables have a positive correlation with the dependent variable which means that the higher the ACI, ACS, ACM and ACQ, the higher the ROA. Although a positive

relationship exists between them, the strength of their relationship is very weak with regards to ACM at 22%, ACS at 27%, ACQ at 29% and ACI at 34%. The values on the diagonal are all 1.000000 which entails that each variable is perfectly correlated with itself.

4.5 REGRESSION ANALYSIS

Table 4.3. Regression analysis: The effect of independent variables on return on assets

<i>Variables</i>	<i>Coefficient</i>	<i>t-statistic</i>	<i>Probability</i>
<i>C</i>	-726543	-3.594624	0.0011
<i>ACI</i>	45.1436	2.519464	0.0173
<i>ACS</i>	85.716	0.669460	0.0508
<i>ACM</i>	92.813	2.164346	0.0385
<i>ACQ</i>	17.960	0.114696	0.9050
<i>R²</i>	0.7658	<i>No. of observations</i>	500
<i>Adjusted R²</i>	0.6673	<i>F-statistic</i>	1.853
<i>Prob (F-statistic)</i>	0.0683		

Source: Summary of researchers' computation (2017)

$P < 0.10$ significant (Reject H_0)

$P > 0.10$ insignificant (Accept H_0)

In table 4.3 above, the study observed that the adjusted R^2 is 76.58%. This means that the independent variables accounts for about 76.58% change in the dependent variable. The F-statistic value is 1.715887 and its P-value is 0.048382. The table above shows the multivariate regression analysis of selected non-financial firms in Nigeria. As shown in table 4.3 the F-statistic probability of 0.0680 signifies that the model is well specified at 10%. The value of R-squared which is the coefficient of determination stood at 76% which implies that 76% of the systematic variations in individual dependent variables were explained in the model while 23% were unexplained. Again the result showed an adjusted R-squared (R.sq adjusted) of 66%. This shows that over 66% of the total variations (ROA) is explained by the independent variables while about 34% is unaccounted for, hence captured by the stochastic error term. The Durbin Watson value of 1.853 shows the absence of serial correlation in the least square model used in the study.

The results of the analysis shows that audit committee independence (ACI), audit committee size (ACS) and audit committee meeting (ACM) are positively and significantly related to return on asset. This is evidenced in their t-values **2.519464**, **0.669460** and **2.164346** respectively. This entails that a firm with more percentage of non-executive directors, with reasonable number of members and meets frequently tends to have their profitability improved. This implies that a 1% increase in audit committee independence (ACI), audit committee size (ACS) and audit committee meeting (ACM) is associated with an increase in return on asset by **45.1436%**, **85.716%** and **92.813%** respectively. Thus this led to the rejection of first, second and third null hypothesis (H_1 , H_2 & H_3). This also evidenced in the positive value of return on assets recorded in the descriptive statistics on table 4.3 above. The positive and significant result recorded above is in compliance with the findings of Bansal and Sharma (2016), Gabriela (2016) and Salisu and Nur Ashikin (2016) who also reported positive and significant relationship between audit committee independence, audit committee size and meeting with firm performance. From the above result, the study rejects the null hypotheses and accepts the alternate hypotheses and concludes therefore that there is a positive and significant effect between audit committee independence, audit committee size and audit committee meeting and firm performance of non-financial firms quoted in the Nigerian Stock Exchange.

Last but not the least; we reported a positive but insignificant relationship between audit committee qualification and return on assets. The regression analysis result revealed a t-statistic value of 0.114696 and p-value of 0.9095 which is greater than alpha value of 0.10(10%). Based on the above result, the study rejects the alternate hypothesis and accepts the null hypothesis. Therefore it concludes that audit qualification has an insignificant positive effect on firms' performance of non-financial firms quoted in Nigerian Stock Exchange.

Table 4.4. Summary of Analysis, Result and Decision

Hypothesis (alternate)	P-value	F-statistics	R. sq(adj)	Decision
Audit independence has significant effect on return on assets.	0.0173	2.715887	0.7658	Reject H_0 Accept H_1
Audit size has significant effect on return on assets.	0.5085	2.715887	0.7658	Reject H_0 Accept H_1
Audit meeting is significantly related to return on assets.	0.0385	2.715887	0.7658	Reject H_0 Accept H_1
Audit committee qualification is not significantly related to return on assets.	0.9095	2.715887	0.7658	Accept H_0 Reject H_1

4.6 SUMMARY OF FINDINGS AND RECOMMENDATIONS

Based on a sample of selected 50 non-financial firms from Nigerian Stock Exchange for ten fiscal years from 2007-2016 and using four measures of audit committee characteristics (ACI, ACS, ACM, and ACQ), we made the following observations:

Audit committee independence and audit committee meeting were found to be positive and statistically significantly related with return on asset at 5% level of significant and audit committee size was observed to be positive and statistically significant with return on asset at 10% level of significant while audit committee qualification was found to be positively and statistically insignificantly related with return on asset of selected non-financial firms in Nigeria.

5 RECOMMENDATION

On the basis of the findings of the study the paper recommends among others that non-financial firms should increase the number of non-executive (independent) directors and also ensure that audit committee is constituted by independent persons, with high level of integrity that can match words with action to improve performance of non-financial firms in Nigeria. Audit meetings should be held at least four times in a financial year. This would help the committee to be able to review matters and also reviews the internal control systems hence improve firm performance. Finally, non-financial firms should have at least one chartered accountant in the audit committee in order to issue an opinion and investigate areas of financial misstatement especially in this era of economic recession. Even though this factor (audit committee qualification) was not statistically significant, it should not be totally ignored because it was found to be positive.

REFERENCES

- [1] Abbott, L., S. Parker, & G. Peters. (2004). Audit committee characteristics and restatements. *Auditing: A Journal of Practice and Theory* 23 (1): 69-87.
- [2] Abbott, L.J., Parker, S, Peters, G.F. & Raghunandan, K. (2003). The association between audit committee characteristics and audit fees. *A Journal of Practice and Theory*, 22 (2), 17-32.
- [3] Agrawal, A. (2005), Corporate governance and accounting scandals. *Journal Law and Economics*, 48,371-709.
- [4] Bansal, N. & Sharma, K. (2016). Audit committee, corporate governance and firm performance: Empirical evidence from India. *International Journal of Economics and finance* 8(3), 103-116
- [5] Baxter (2002). Audit committees and financial reporting quality. Unpublished PhD thesis, University of Southern Queensland,
- [6] Beasley, M. S. (1996). An empirical analysis of the relation between the board of director composition and financial statement fraud. *Accounting Review*, 71(4), 443-465.
- [7] Bedard, J., S. M. Chtourou, & L. Courtean (2004). The effect of audit committee expertise, independence, and activity on aggressive earnings management. *Auditing: A Journal of Practice and Theory* 23 (September): 13-35.
- [8] Bergstresser, D., & Philippon, T. (2006). CEO incentives and earnings management. *Journal of Financial Economics*, 80(4) 511-529.
- [9] Birkett, L., (1986). The provision of other services by auditors: Independence and pricing issues, *Accounting and Business Research*, 24(94) 99-108.
- [10] Blue Ribbon Committee (BRC), (1999), *Report and Recommendations of the Blue Ribbon Committee on Improving the Effectiveness of Corporate Audit Committees*. Stamford, CT: BRC.
- [11] Bradbury, M (1990). The Incentives for voluntary audit committee formation. *Journal of Accounting and Public Policy*, 9 (1), 13-36.

- [12] Cheng, H. & S. Warfield (2010). Client importance, non-audit services, and abnormal accruals. *The Accounting Review*, 78(4) 931-955.
- [13] Choi, J. J., Jeon, S. W., & Park, S. S. (2007). The value of outside directors: Evidence from corporate governance reform from Korea. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 42(4), 941–962
- [14] Deakin, S., Konzelmann, S. (2004), *Learning from Enron*. Corporate Governance, 12(2), 134-142.
- [15] Dellaportas, S., Gibson, K., Alagiah, R., Hutchinson, M., Leung, P., & Van Homrigh, D. (2005), *Ethics, Governance & Accountability, a Professional Perspective*, JohnWiley& Sons Australia Ltd, Milton, Qld.
- [16] Fama, E. (1980). Agency problems and the theory of the firm. *Journal of Political Economy* 88(2): 288-307.
- [17] Fama, E. F., & Jensen, M. C. (1983). Separation of ownership and control. *Journal of Law and Economics*, 26(2), 301-325.
- [18] Gabriela, Z. (2016). The audit committee characteristics and firm performance: Evidence from the United Kingdom.
- [19] Goodwin, J. (2003). The relationship between the audit committee and the internal audit function: evidence from Australia and New Zealand. *International Journal of Auditing*, 7,263-278.
- [20] Greene, W. (2003). Econometric analysis, 5th edition, New York: McGraw-Hill Healy, P.M. & J.M. Wahlen (1999). A review of the earnings management literature and its implications for standard setting. *Accounting Horizons*, 13, (4) 365-383
- [21] Ittonen, K, Miettinen, J & Vähämaa S. (2007). Does female representation in audit committees affect audit fees? Department of Accounting and Finance University of Vaasa, Finland
- [22] Iturriaga, F. J. L. & P. S. Hoffiman (2005). Managers discretionary behavior, earnings management and internal mechanisms of corporate governance: Empirical evidence from Chilean firm. *Corporate Ownership and Control*, 3,(1) 17-29
- [23] Jensen, M & Meckling, W. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs, and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3,(6) 305-360.
- [24] Jones, J. J. (1991). Earnings management during import relief investigations, *Journal of Accounting Research* 29, 193-228.
- [25] Kalbers, L. P & Fogarty, T. J. (1998). Organizational and economic explanations of audit Committee Oversight. *Journal of Managerial Issues*, 10 (2), 129-150.
- [26] Klein, A., (2002). Audit committee, board of director characteristics, and earnings management. *Journal of Accounting and Economics*, 33 (3), 375–400.
- [27] Klein, A., (1998): Firm performance and board committee structure. *Journal of Law and Economics*, Vol. 41, (1) 275-303.
- [28] Lin, P., and li, H., & Yang E. (2006). The auditor's going-concern decision: Some UK evidence concerning independence and competence, *Journal of Business Finance & Accounting*, 20(2),213-228.
- [29] Murya, G. (2010). Audit committee characteristics and restatements. *A Journal of Practice and Theory* 23 (1): 69-87.
- [30] Mustafa, H., Daud, Z.M., Muhamad, S. (2009), Corporate governance practices and firms performance: the Malaysian case. *Journal of Money, Investment and Banking*. 11, 45-59.
- [31] Oaikhenan, H. E & Udegbuma, R. I. (2004). *Modern Statistics for economics and business*, Benin City: Henans Publishers.
- [32] Rahman, R. & Ali, F. (2006). Board, audit committee, culture and earnings management: Malaysian evidence. *Managerial Auditing Journal*, 21(7), 783-804.
- [33] Saleh, E. Iskandar . S & Rahmat A. (2007). Audit committee characteristics and earnings management: evidence from Malaysia, *The Asian Review of Accounting*, 15 (2): 147-163.
- [34] Salisu, K. B. & Nur Ashikin, M. S. (2016). Audit committee attributes and firm performance: Evidence from Malaysian finance companies. *Asian Review of Accounting* 23(3), 206-231
- [35] Thinggaard, F. & Kiertzner, K. (2008). Determinants of audit fees: Evidence from a small capital market with a joint audit requirement. *International Journal of Auditing*, 12, 141 – 158.
- [36] Uwuigbe, O. (2011). Corporate governance and financial performance of banks: a study of listed banks in Nigeria. A Thesis In The Department Of Accounting, Submitted to the School of Postgraduate Studies Covenant University, Ota, Ogun State.
- [37] Venkaaman & Ramanuian (1986) Board meeting frequency and firm performance, *Journal of Financial Economics*, 53, 113-142.
- [38] Van der Zahn, M. & Tower, G. (2004). Audit committee features and earnings management: further evidence from Singapore. *International Journal of Business Governance and Ethics*, 1(2) 233-257.
- [39] Weiss, R. (2005), Audit committee characteristics and monitoring effectiveness. *PhD Dissertation*, City University of New York.
- [40] Xie, B., Davidson, W., & DaDalt, P.J., (2003). Earnings management and corporate governance: the role of the board and the audit committee. *Journal of Corporate Finance*, 9, 295-316.
- [41] Yang, J. S., & Krishnan, J., (2005). Audit committees and quarterly earnings management. *International Journal of Auditing*, 9, 201-209. 70
- [42] Zain, M. (2005). The effect of audit committee and internal audit attributes on internal audit contribution to financial statement audit and audit fees: Perceptions of Malaysian Internal auditors. Unpublished thesis.

Etude Structurale des formations de l'Ouest du lac Tanganyika (cas de Kavimvira, RD Congo)

Guy L. SHUNGU

Department of Geology,
University of Goma,
Goma, North Kivu, DR Congo

Copyright © 2018 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 formations of western Lake Tanganyika are mainly metamorphic intruded by magmatic intrusions and covered by some recent alluvium. They are particularly Mesoproterozoic formations with characteristic lithologies: Gneiss, quartzite, amphibolites, diorites and pegmatites. Regional tectonic has affected this sector generating brittle and planar microstructures which attest the compressive and extensive phases that affected this terrain, and even confirmed in the study of constraints by WIN TENSOR. The preferential orientation of NNW-SSE cleavages and foliations would justify the existence of a large regional fold contemporaneous with the D2 deformations of Kibaran, while the double orientation of the fractures reflects two phases of local deformations that have been affecting Kavimvira. The highlighting of the faults at the regional scale is related to East African rifting.

KEYWORDS: Kibaran, cleavage, rifting, Tanganyika, kavimvira.

RESUME: Les formations de l'Ouest du Lac Tanganyika sont principalement métamorphiques recoupées par des intrusions magmatiques et couvertes par quelques alluvions récentes. Ce sont particulièrement des formations mésoprotérozoïques dont les lithologies caractéristiques sont: Gneiss, quartzite, amphibolites et pegmatites.

La tectonique régionale a affecté ce secteur générant des microstructures cassantes et planaires qui attestent des phases compressive et extensive qu'a connu ce terrain, confirmée même dans l'étude des contraintes par WIN TENSOR. L'orientation préférentielle des schistosités et des foliations NNW-SSE justifierait l'existence d'un vaste plissement régional contemporain aux déformations D2 du Kibarien, tandis que la double orientation des cassures traduit deux phases de déformations locales ayant affectées Kavimvira. La mise en évidence des failles à l'échelle régionale est à rattacher au rifting Est Africain.

MOTS-CLEFS: Kibarien, schistosités, rifting, Tanganyika, kavimvira.

1 INTRODUCTION

Le Territoire d'Uvira (en province du Sud-Kivu) borde l'Ouest du lac Tanganyika. Il se trouve à l'Est de la RD Congo et est caractérisé par des formations précambriennes mésoproterozoïques sur lesquelles reposent des formations cénozoïques issues de la sédimentation et du volcanisme le long de la branche occidentale du Rift Est Africain [7]. Les lithologies caractéristiques d'Uvira sont majoritairement métamorphiques (Gneiss, Quartzites, schistes, Amphibolites). De larges filons pegmatitiques s'y trouvent également.

Comme dans la plupart des terrains de l'Est de la RD Congo, la présence de plusieurs structures et déformations géologiques à Kavimvira est incontestablement liée aux multiples soubresauts tectoniques qui ont affecté cette vaste région bordant le Rift Est Africain [5]. La mise évidence de ces structures géologiques contribue dans une bonne reconstitution de l'histoire géologique et tectonique locale de cette région. Kavimvira étant une commune de la cité d'Uvira.

Notre étude permet de relever succinctement le contexte structural de cette localité en le situant par rapport au contexte tectonique régional. L'objectif est de déceler toutes les microstructures ayant affecté Kavimvira, les traiter avec WIN TENSOR et les situer par rapport au contexte tectonique régional.

2 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La géologie de la région d'Uvira se caractérise par deux ensembles lithologiques qui sont représentés par des roches précambriennes métamorphiques du kibarien et de roches récentes du Cénozoïque du rift Tanganyikien, caractérisées par des formations plio-quaternaires dont la stratigraphie des formations autour du lac Tanganyika est représentée par de formations d'âge holocène et pléistocène [11], [6]. A Kavimvira, ILUNGA [8] a caractérisé ces formations récentes comme étant des alluvions fluvio-lacustres appartenant à la terrasse T1 juste en amont du pont.

En fait, cette région appartient structuralement au système des rifts africains plus particulièrement à la branche occidentale du rift Est Africain, dont le début de formation serait à l'éocène [1].

Uvira est constitué géologiquement de deux ensembles notamment les formations kibarienes faites principalement des quartzites et de schistes divers qui alternent variablement et qui sont intercalées par des amphibolites, de gneiss, de filons de quartz et de pegmatites de colorations diverses issus d'un hydrothermalisme post génétique. Ces formations sont plissées fort redressées avec des pendages de 40° à 90° et des directions sensiblement méridiennes et faillées (deux familles de failles dont celles orientées N-S dites occidentales qui dominent directement le lac et celles orientées NW-SE ou NNW-SSE qui sont de failles discontinues retrouvées plus à l'Ouest) [17], [6].

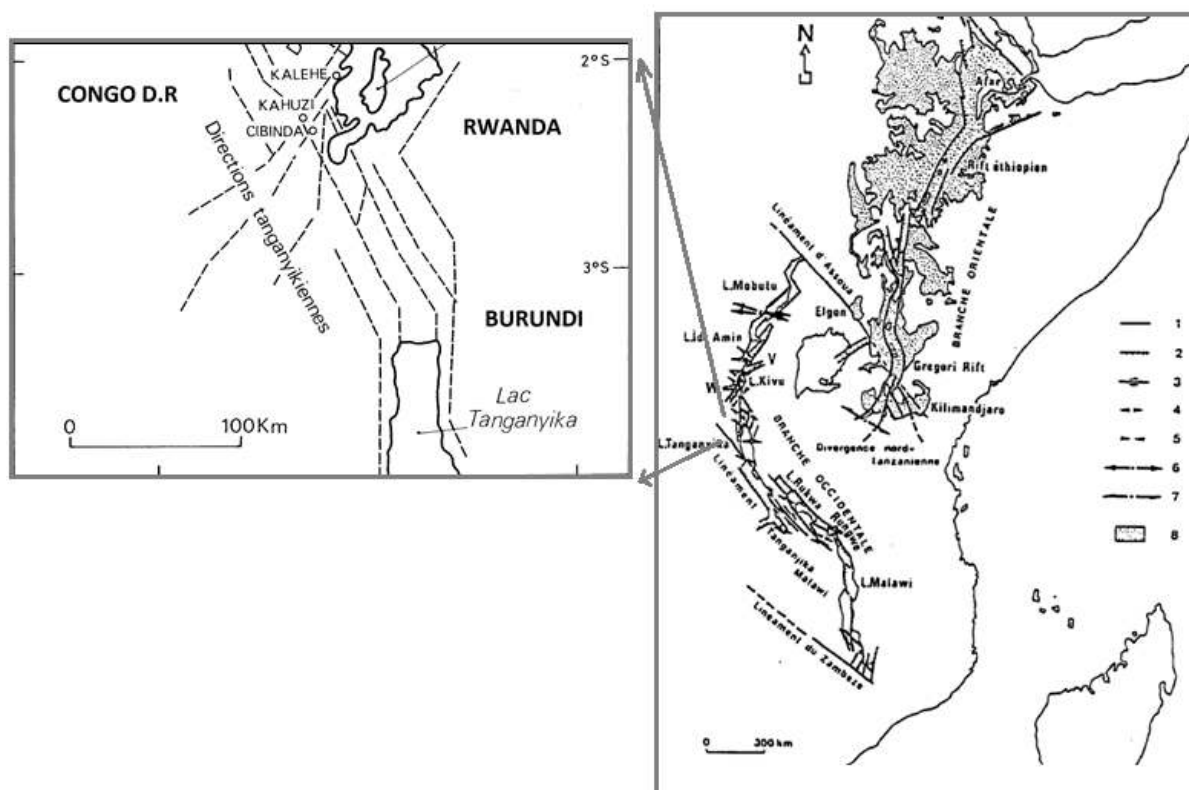


Fig. 1. Système des failles du Sud Kivu d'après [2] et [3] simplifié

Le deuxième ensemble est constitué des formations cénozoïques représentées par les formations détritiques fluvio-lacustres d'âge quaternaire [6].

3 CONTEXTE STRUCTURAL DE KAVIMVIRA

3.1 TYPES LITHOLOGIQUES

Le secteur de Kavimvira présente une diversité des lithologies dominée par les formations métamorphiques. Les formations rocheuses affleurent beaucoup plus dans la partie Ouest de la cité de KAVIMVIRA, dans les quartiers (Rugenge Sud et Nord, Kinaga, Rutabo et Kaala) donc sur le versant oriental des Monts de la chaîne de Mitumba ; et deviennent quasiment rares du côté Est de la route nationale N°5, en effet constitué par des formations du plio-quaternaire. Les gneiss, les pegmatites, les quartzites, les amphibolites sont les roches constitutives de notre secteur d'étude (**Fig.2**). Ces roches ont été soumises à des déformations engendrant des structures cassantes et ductiles.



Gneiss oeilé

(b) Quartzite

(c) Amphibolite

Fig. 2. Quelques images des lithologies de Kavimvira

Les gneiss retrouvés à Kavimvira présentent des oculaires légèrement sombres, avec d'yeux des feldspaths alcalins notamment l'orthose, avec des micas noirs et blancs présents. Les pegmatites, reconnues par leur texture se présentent sous forme filonien (de filons continus pouvant atteindre par endroits 1m de puissance) et sous forme massive, intubant des quartzites et des gneiss. Les quartzites sont clairs, à grains de quartz jointifs fortement soudés. Les amphibolites affichent de coloration faiblement verdâtre avec des minéraux d'hornblende visibles. Ces différentes lithologies sont reprises dans l'esquisse géologique ci-contre (**Fig.3**).

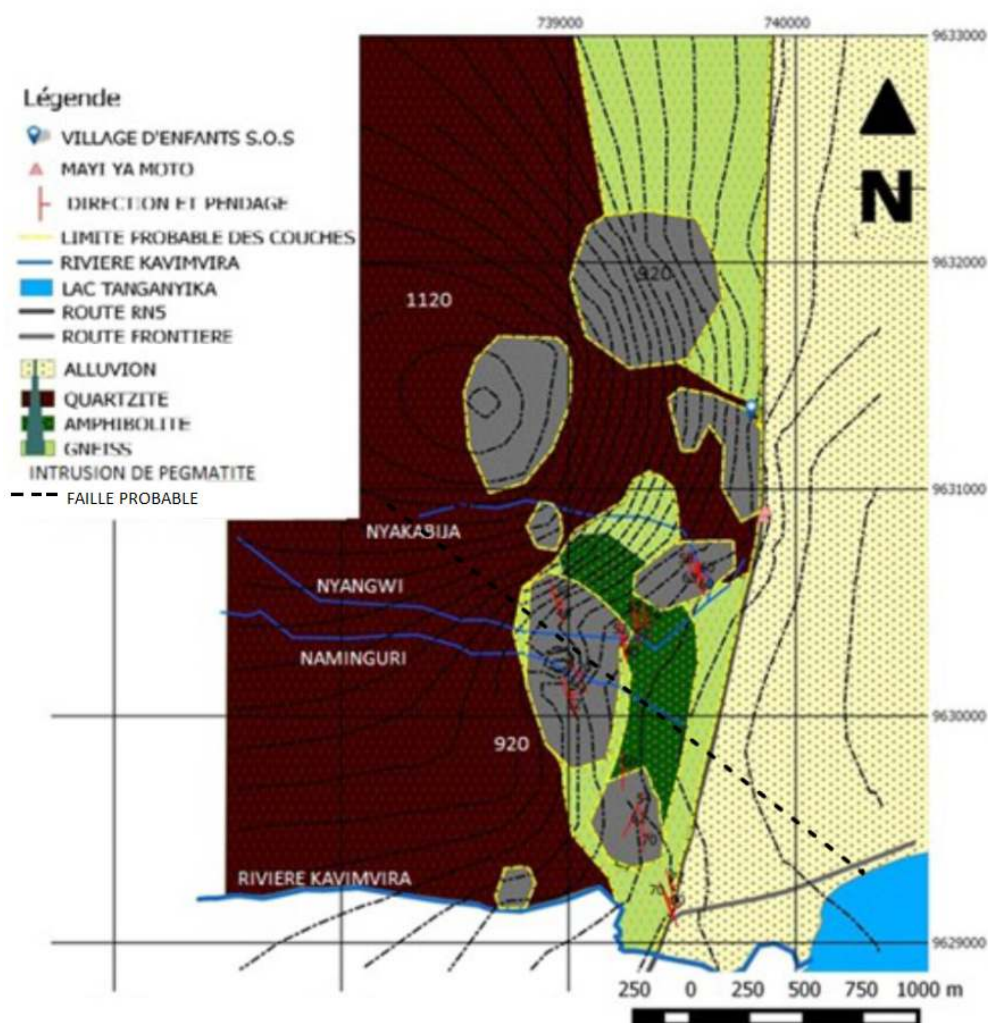


Fig. 3. Esquisse géologique de Kavimvira

3.2 PRINCIPALES STRUCTURES ET DÉFORMATIONS

Dans le secteur de Kavimvira, les travaux de terrain ont permis de relever les structures planaires et linéaires ainsi que les déformations discontinues. Il s'agit notamment: des schistosités et foliations, des cassures non remplies (diaclasses et joints), les cassures remplies (les filons), les décrochements et les éléments linéaires.

Le traitement des mesures structurales (direction et pendage) de ces différentes structures a été réalisé à partir du logiciel WIN TENSOR 5.0.1, logiciel performé par Damien DELVAUX [4] ; tandis que le comportement mécanique de notre terrain d'étude a été mis en évidence grâce aux projections stéréographiques sur hémisphère inférieur.

A partir des observations des roches déformées (résultat de la cinématique), la reconstitution des déformations et des forces est donc un modèle basé sur ces observations.

Ainsi faire une étude structurale revient à distinguer, dans l'architecture actuelle de cette contrée, ce qui est lié aux propriétés et rapports originels des roches et ce qui est dû à leurs déformations postérieures. Ainsi il faut envisager de déceler les divers stades de la déformation et effectuer l'analyse cinématique, c'est-à-dire analyser les mouvements. Signalons que l'étude de forces qui ont déformé les roches revêt un aspect dynamique qui nécessite un appareil mathématique ; cet aspect ne sera pas détaillé dans cet article.

3.2.1 LES STRUCTURES PLANAIRES

3.2.1.1 LES SCHISTOSITÉS

La schistosité est une structure mécanique avec des plans de débit préférentiel de la roche, elle constitue un feuilletage tel que tous les feuillets aient la même composition, sans qu'ils aient un rapport défini avec la stratigraphie. Elle se développe lorsque la déformation a dépassé un certain seuil.

A Kavimvira, ces structures ont été mesurées sur des gneiss, des amphibolites et des schistes. Vingt mesures ont été prélevées.

Partant du traitement à l'aide de Win Tensor des mesures prélevées, il a été observé que les plans de schistosité ont comme direction préférentielle NNW-SSE et une classe modale préférentielle de pendage s'observe sur le stéréogramme d'angle variant de 50° à 55° . Quant à l'orientation statistique des pôles est $N169^\circ E/54^\circ ENE$. L'angle de la direction préférentielle varie de 160° à 170° (**Fig.4**).

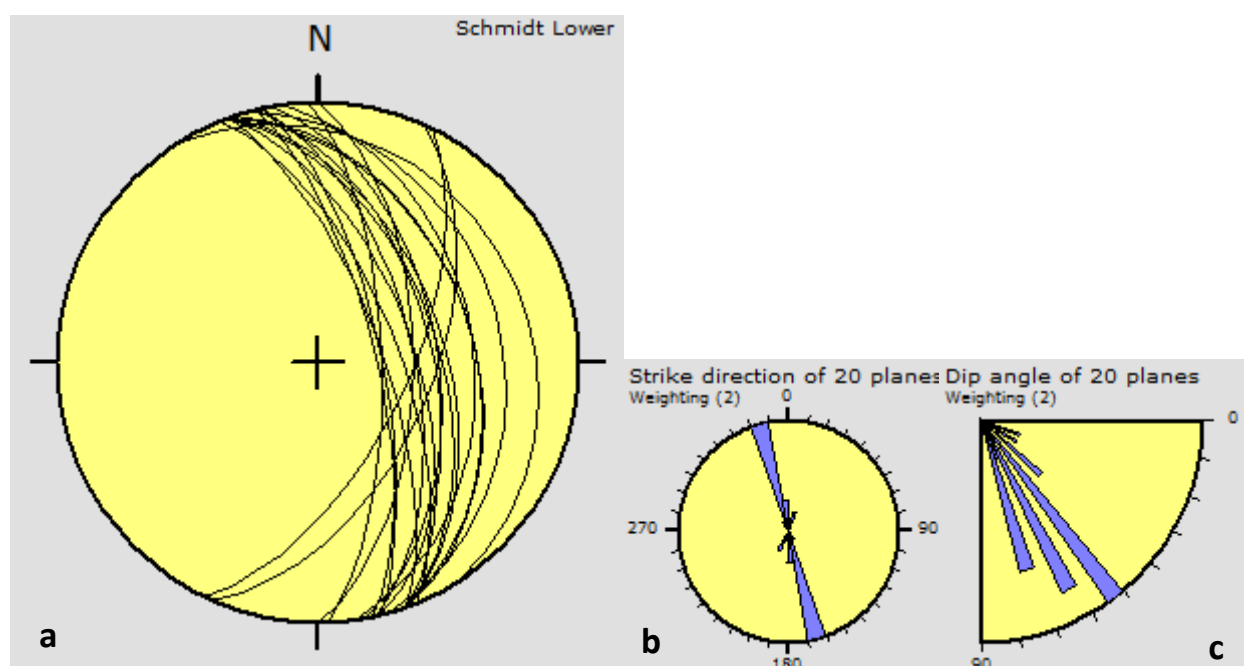


Fig. 4. a : Les plans de schistosité représentés dans le stéréogramme de Lambert SCHIMDT ; b : La rosace montrant l'orientation préférentielle des plans de schistosité ; c : La rosace des fréquences représentant la classe modale de pendage des plans de schistosité.

3.2.1.2 LES FOLIATIONS

Ces structures ont été observées sur les gneiss de Kavimvira et leurs alternances minérales pourraient correspondre à des niveaux contrastés formés par métamorphisme ou une foliation magmatique (flux dans le système partiellement cristallisé).

Six mesures ont été prélevées. De celles-ci il s'observe que ces structures ont comme direction préférentielle NNW-SSE. Deux classes modales de pendage s'observent sur le stéréogramme, d'angle variant de 35° à 40° et 45° à 70° . Les pôles de plans de foliation ont une orientation statistique $N153^\circ E/52^\circ NE$. L'angle de la direction préférentielle varie de 150° à 170° . Ces structures, dans notre terrain d'étude, sont caractéristiques de roches gneissiques (**Fig.5**).

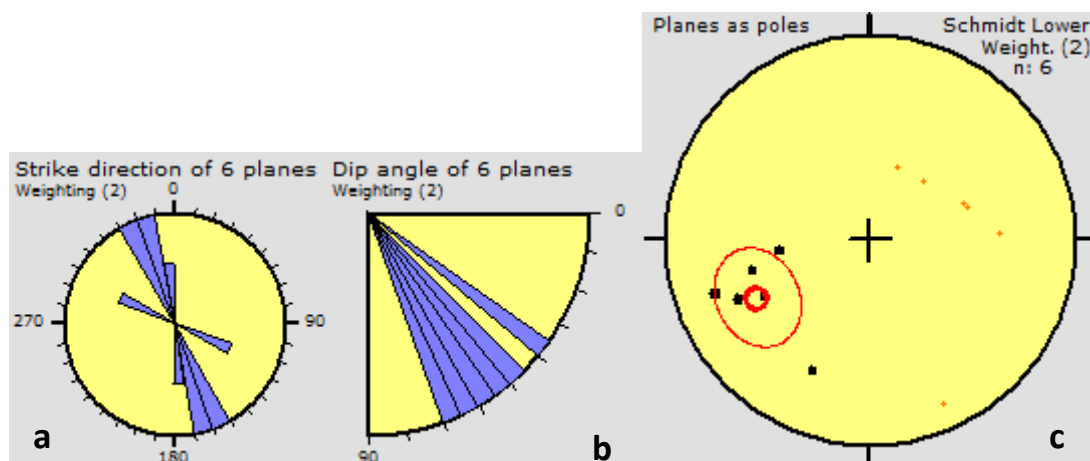


Fig. 5. a : la direction préférentielle de foliation ; b : les classes modales de pendage des foliations ; c : stéréogramme représentant les pôles des plans de foliations

3.2.2 LES DÉFORMATIONS DISCONTINUES

3.2.2.1 LES DIACLASES ET JOINTS

Les diaclases tout comme les joints sont des cassures de roches sans déplacement relatif des parties séparées. Ces deux types de cassures sèches ont affecté presque toutes les roches de Kavimvira ; dix mesures de diaclases et sept mesures de joints ont été prélevées. Ces fractures de diaclases présentent une direction préférentielle sur la rosace des fréquences, ENE-WSW. Leur classe modale préférentielle des pendages présente un angle variant de 85° à 90° tandis que l'angle de la direction préférentielle varie de 60° à 70°. Quant à l'orientation statistique des pôles des plans, elle est N68°E/82°SE (**Fig.6**).

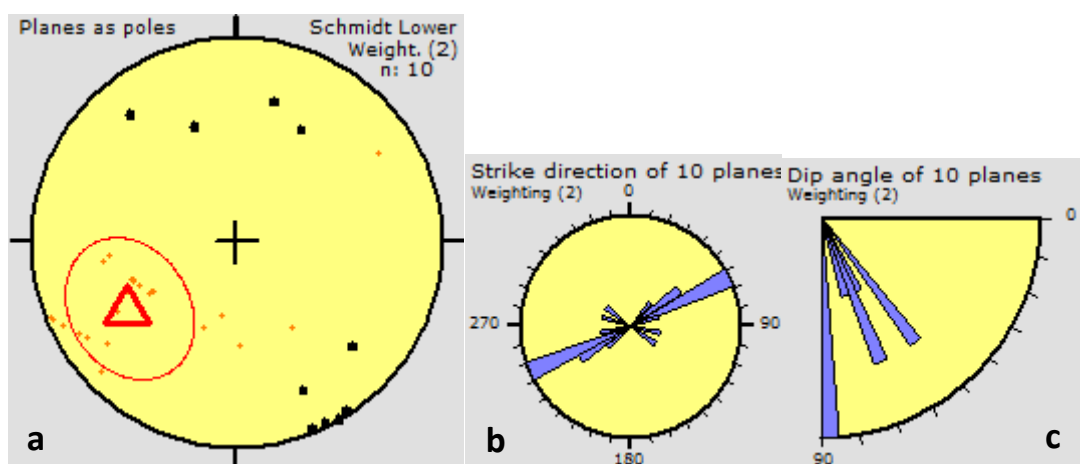


Fig. 6. a : Diagramme représentant les pôles des plans des diaclases ; b : La rosace des fréquences représentant l'orientation préférentielle des diaclases ; c : La rosace montrant la classe modale préférentielle de pendage des diaclases.

Cependant pour les joints, la rosace montre une direction préférentielle NNE-SSW. On observe deux classes modales préférentielles sur le stéréogramme dont les angles varient de 40° à 45° et 60° à 65°. L'orientation statistique des pôles des plans des joints est N167°E/51°WSW tandis que l'orientation statistique d'intersection des plans des joints (triangle rouge) est N239°E/21°NW. L'angle de la direction préférentielle varie de 10° à 20° (**Fig.7**).

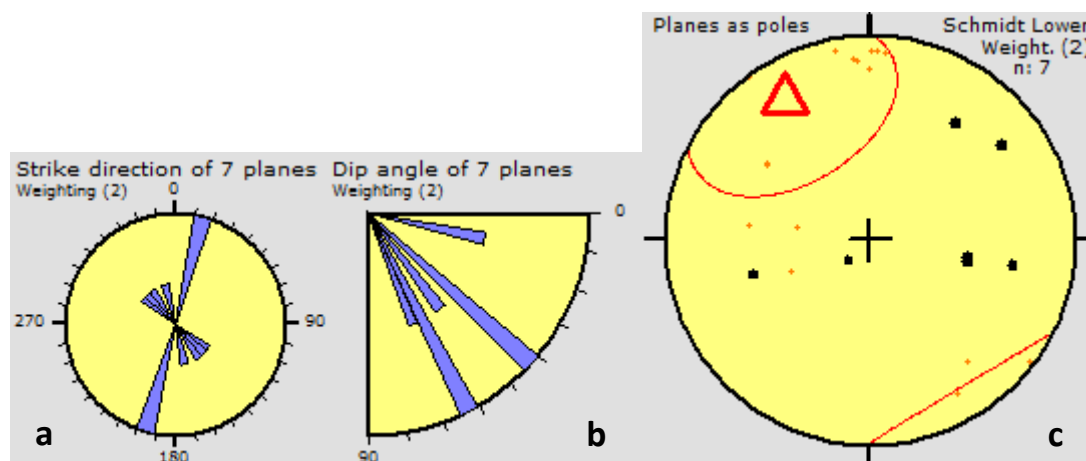


Fig. 7. *a : La rosace des fréquences représentant l'orientation préférentielle des joints ; b : La rosace montrant deux classes modales préférentielles de pendage des joints; c: stéréogramme montrant les pôles des joints*

3.2.2.2 LES FILONS

Un filon correspond le plus souvent au remplissage d'une fracture (diacalse, faille) et est constitué soit de roches magmatiques, soit de roche dont le matériel « souvent enrichi en substances utiles » provient de roches magmatiques et a été déplacé par des fluides aqueux eux-mêmes d'origine.

Dans ce terrain d'étude, il s'observe des filons ayant l'allure des couches de l'encaissant et d'autres discordants, qui sont sécants à l'encaissant (**Fig.8**).

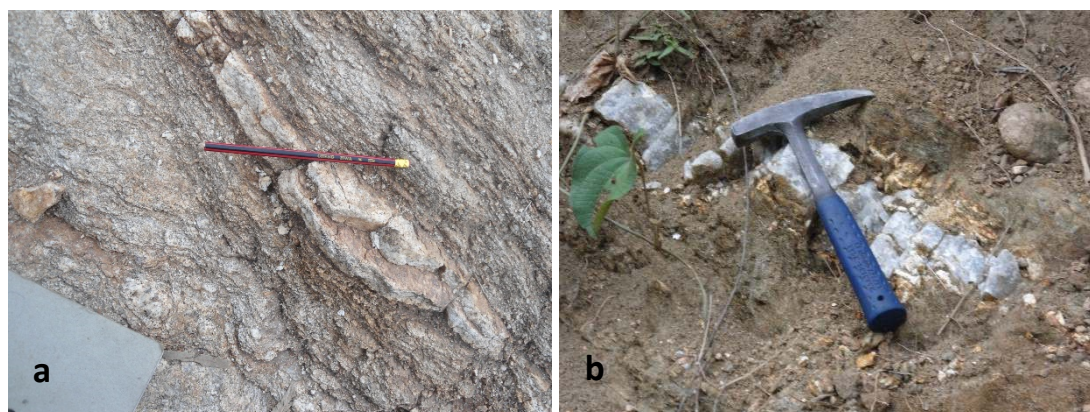


Fig. 8. *a: illustrant un filon couche; b: un filon discordant*

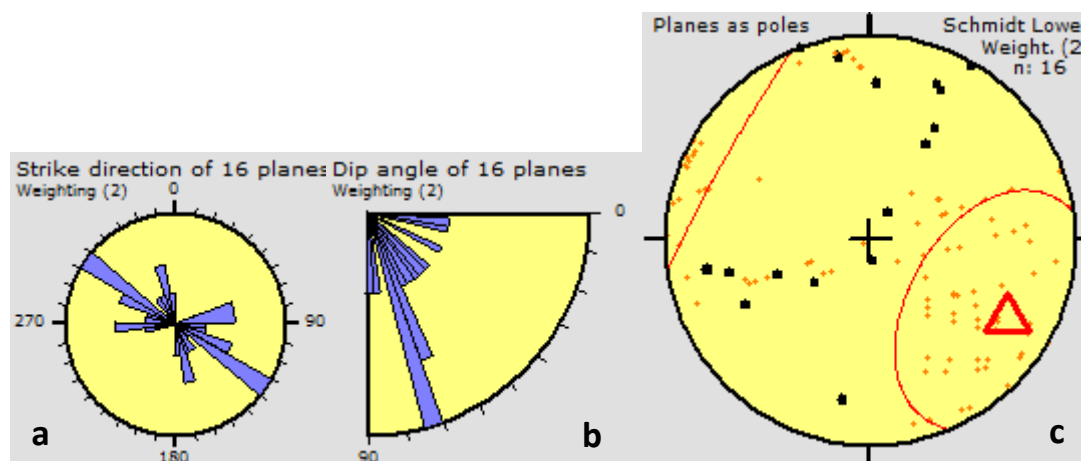


Fig. 9. a: La rosace des fréquences montrant l'orientation préférentielle des filons; b: stéréogramme montrant la classe modale de pendage des filons; c: diagramme illustrant les pôles des plans des filons

La direction préférentielle des filons est NW-SE. Une classe modale de pendage s'observe sur le stéréogramme d'angle variant de 70° à 75° . Les pôles des plans des filons ont une orientation statistique $N128^\circ E/70^\circ NE$ tandis que les plans des filons se coupent par $N30^\circ E/24^\circ SE$, important, car démontre alors la présence des filons couchés et des filons discordants, évoque ci-haut. L'angle de la direction préférentielle varie de 120° à 130° .

3.2.2.3 DÉCROCHEMENT

Contrairement à d'autres fractures discontinues sans déplacement, abordées ci-haut, un décrochement est une fracture discontinue de cisaillement avec déplacement, surtout horizontal.

Dans notre cas, cette déformation a été mise en évidence par des cassures antérieures au décrochement (longitude : $739762mE$; latitude : $9631335mS$; altitude : $813m$). Son rejet est d'environ 12 cm et la matérialisation de ce plan, nous ont donné comme direction et pendage $N166^\circ E/62^\circ ENE$. Le compartiment opposé est masqué pour bien préciser sens du décrochement, mais suite à nos observations, il s'agit d'un décrochement dextre (Fig.10).

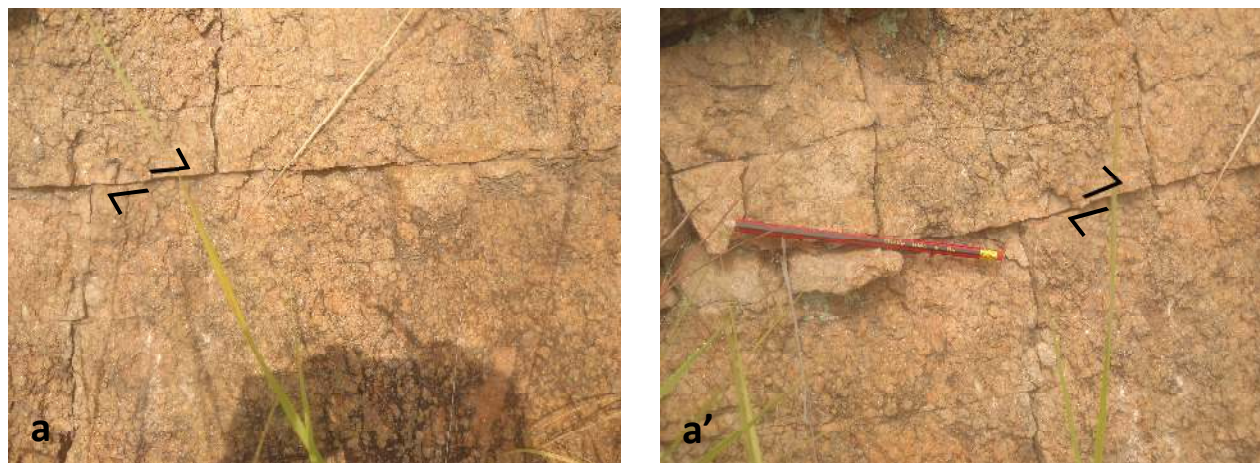


Fig. 10. a et a': un décrochement dextre

3.3 ETUDE DES CONTRAINTES

L'étude des contraintes est l'un de nos points les plus importants de cette étude structurale car elle détaille les différentes forces qui ont été à la base des différentes déformations sur notre terrain d'étude.

Les fractures conjuguées nous ont permis de mettre en évidence les contraintes ayant générées les différentes déformations rencontrées, il s'agit de toutes les fractures sans déplacement issues d'une tectonique cassante et qui se recoupent les unes les autres.

Tableau n°1 : présentation des données des fractures conjuguées

Coordonnées géographiques			Mesures structurales				LITHOLOGIE
LONGITUDE (mE)	LATITUDE (mS)	ALTITUDE (m)	Fracture 1		Fracture 2		
			DIRECTION	PENDAGE	DIRECTION	PENDAGE	
739401	9629313	802	N192°E	40°WNW	N120°E	53°SW	GNEISS
739761	9631334	811	N164°E	50°W	N64°E	88°SE	QUARTZITE
739756	9631343	810	N138°E	12°SW	N68°E	60°NNW	QUARTZITE

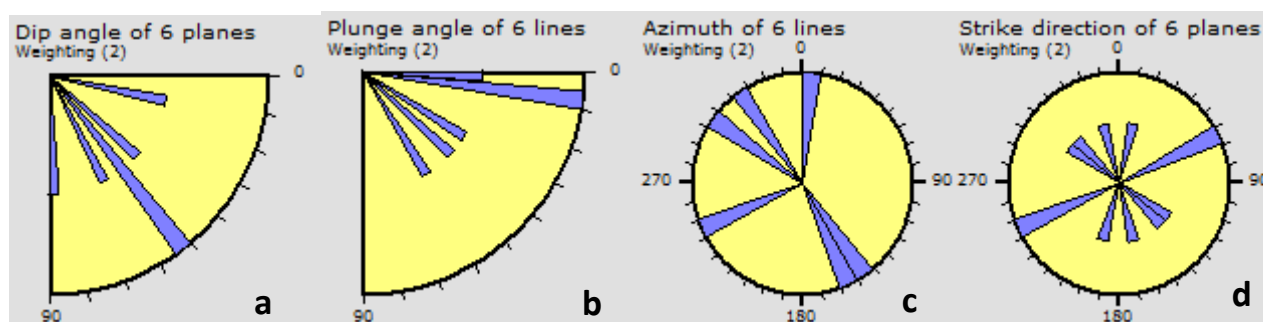


Fig. 11. a: la classe modale de pendage de nos fractures conjuguées; b: la classe modale de plongement des linéations d'intersection de nos fractures; c: les azimuts des linéations; d: la direction préférentielle des fractures conjuguées

La classe modale de pendage de nos fractures conjuguées sur le stéréogramme varie de 50° à 55° et leurs intersections nous ont donné six linéations avec comme classe modale de plongement variant de 5° à 10°. La direction préférentielle de nos fractures dans la rosace des fréquences est ENE-WSW et son angle varie de 70° à 80°.

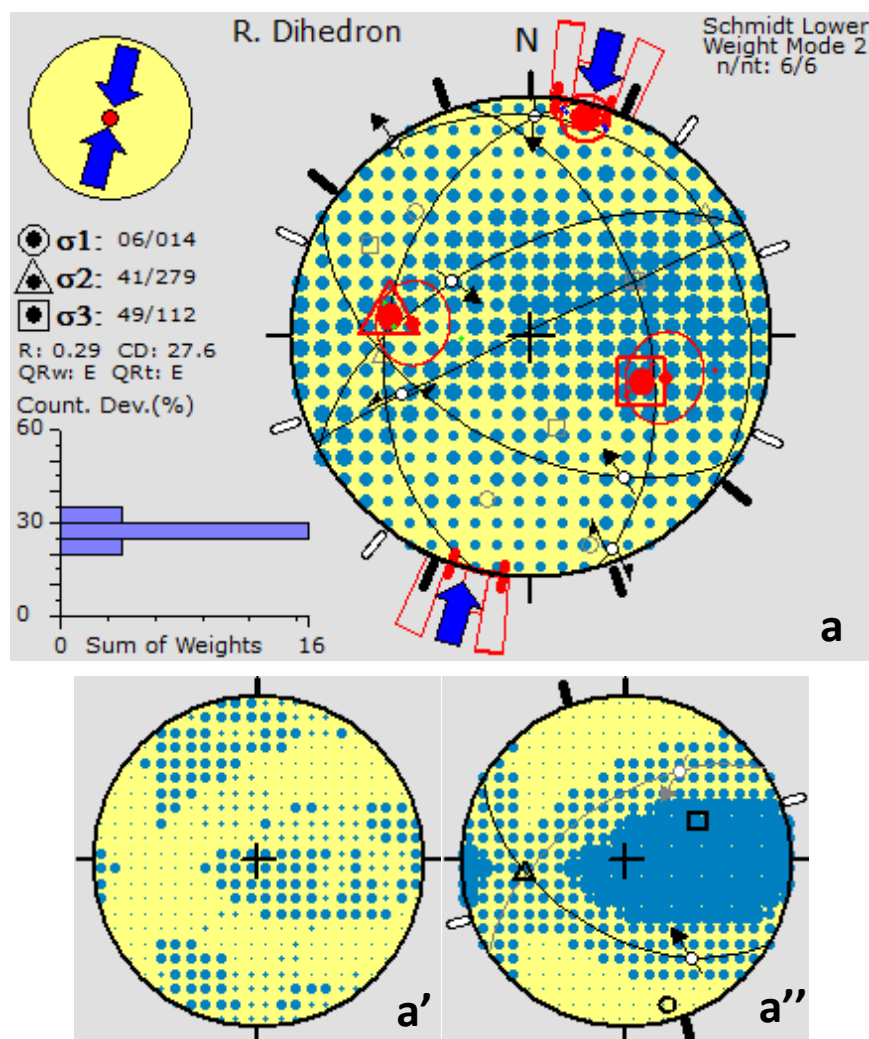


Fig. 12. a : Tenseur des contraintes responsables des fractures conjuguées retrouvées dans notre terrain d'étude ; a' : déformations engendrées (décrochements) par ces fractures ; a'' : décrochement résultant d'un seul plan de fracture.

L'analyse structurale des fractures conjuguées rencontrées dans notre terrain d'étude montre que ces fractures sont issues légèrement d'une extension et grandement d'une compression résultant des contraintes σ_1 , σ_2 et σ_3 dont les valeurs de plongement/azimuth (en degré) sont indiquées sur la figure ci-dessus, σ_1 : N14°E/6°NNE, σ_2 : N99°E/41°WNW et σ_3 : N112°E/49°ESE. Ces fractures conjuguées de notre terrain d'étude témoignent l'alternance d'une extension suite au rifting postérieure à une compression dont le plissement général dans cette région est observé à grande échelle. Ceci serait à la base des déformations observées sur terrain qui constituent les marqueurs probables des décrochements et microfailles, tels que inventoriés plus haut. Les deux grandes flèches bleues indiquent le sens de la compression générée par la contrainte maximale (σ_1) et les petites flèches noires indiquent le sens certain de glissement.

Les directions différentes des joints, décrochement, diaclases et de filons attestent l'existence de deux phases de déformations locales. La première phase ayant donné des cassures syntectoniques au premier plissement régional du kibarien et la deuxième ayant par contre donné des cassures accompagnant le cisaillement du rifting Est Africain épousant l'allure tanganyikienne.

4 DISCUSSION

Partant du contexte géologique dans cette partie du territoire d'Uvira tel qu'illustré par [11], [6] ; les formations typiques de Kavimvira sont également précambriennes d'âge Kibarien et d'âge cénozoïque. Les formations kibarienes sont constituées principalement des métamorphites divers qui ont été recoupés par des intrusions acides tandis que les formations tertiaires sont uniquement des ensembles sédimentaires.

La mise en évidence des roches quartzitiques, gneissiques, amphibolitiques dans notre secteur assure le degré moyen à élever du métamorphisme régional du Kibarien, lequel métamorphisme a été mise en évidence au Kivu par [9], [13], [12], [16], [15]. Au-delà des formations précitées, les alluvions rencontrées à Kavimvira sont quant à elles rattachées aux formations d'âge récent.

Le contexte structural de Kavimvira se traduit par l'existence des éléments structuraux divers qui sont conséquents aux déformations qu'ont connus les terrains Kibariens tels que répertoriés dans cette chaîne [14]. L'orientation préférentielle des schistosités et des foliations NNW-SSE justifierait l'existence d'un vaste plissement régional. Cette orientation est à rattacher aux structures D2 du kibarien dont [10] a relevé et daté au Burundi voisin. Quant à la série des microfailles et la faille retrouvée à Kavimvira, elles seraient en relation avec le système des failles rattachées particulièrement à la direction tanganyikienne. Il s'agit des failles normales datées du tertiaire longeant la branche occidentale du rift est-africain [5].

L'étude des contraintes des cassures informe sur l'existence des phases compressives et extensives qui sont justifiables par les orientations des cassures qui se trouvent être toutes différentes.

5 CONCLUSION

Les formations de l'Ouest du Lac Tanganyika sont principalement typiques du mésoprotérozoïque Congolais connu sous le nom de Kibarien. A Kavimvira, ce sont surtout les roches endogènes diverses qui prédominent notamment certaines intrusions magmatiques (pegmatites) et divers métamorphites (gneiss, quartzites, amphibolites) ; couvertes par quelques alluvions récentes observées à quelques endroits. Ces formations d'alluvions sont fluvio-lacustres d'âge quaternaire.

L'étude micro structurale a mis en évidence les structures planaires telles que les schistosités et foliations ; les structures discontinues telles que les joints, diaclases, filons et décrochement. Les structures continues ont été principalement observées à l'échelle régionale et corroboré lors de l'analyse des données des microstructures récoltées à l'affleurement sur terrain.

Après traitement des données avec le logiciel WIN TENSOR, il a été observé que les plans de schistosité ont comme direction préférentielle NNW-SSE et une classe modale préférentielle de pendage s'observe sur le stéréogramme d'angle variant de 50° à 55° ; les foliations ont comme direction préférentielle NNW-SSE ; les diaclases ont une direction préférentielle ENE-WSW tandis que les joints NNE-SSW ; et les filons avec une direction préférentielle NW-SE et une classe modale de pendage d'angle variant de 70° à 75°.

L'analyse structurale des fractures conjuguées rencontrées dans notre terrain d'étude montre que ces fractures sont issues légèrement d'une extension et grandement d'une compression résultant des contraintes σ_1 , σ_2 et σ_3 dont les valeurs sont σ_1 : N14°E/6°NNE, σ_2 : N99°E/41°WNW et σ_3 : N112°E/49°ESE.

Le contexte structural de Kavimvira se traduit donc par l'existence des éléments structuraux divers qui sont conséquents aux déformations qu'ont connus les terrains kibariens.

REMERCIEMENT

La réalisation de cette étude tient également au concours du géologue Donatien Masumbuko, étudiant à ces temps-là, qui nous avait accompagné sur le terrain lors de nos recherches en 2015.

REFERENCES

- [1] BELLON, H et POUCKET, A., "Datation K-Ar de quelques laves du Rift ouest de l'Afrique Centrale ; Implications sur l'évolution magmatique et structure" ,*Géol. Rundsch*,69(1),pp.49-62, 1980
- [2] BOUTAKOFF N., "Géologie des terrains situés à l'Ouest et au Nord-Ouest du fossé tectonique du Kivu", *Tome IV ,Louvain, Mem.Inst.Univ* , 1939,
- [3] CHOROWICZ J.et NA BANTU MUKONKI,M. "linéaments anciens, zones transformantes récentes et géotectoniques des fossés de l'Est Africain après télédétection et la microtectonique", *Mus roy.Afr.Centr(Tervuren), Dép Géol, rapp ann.1979*,pp. 143-167, 1980,
- [4] DELVAUX D.and SPERNER, B., "Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and fault mechanism data :the tensor program", in: New insight into structural interpretation and Modelling (D. Nieuland Ed.),*Geological Society London, special publications*,212,pp.75-100,2003,
- [5] EBINGER C., "Tectonic development of the western branch of the East African rift system", *Geol. Soc. Am. Bull*, 101, pp. 885-903, 1989,

- [6] ILUNGA L, *Le quaternaire de la plaine de la ruzizi (Etude morphologique et lithostratigraphique)*, Thèse Doct, Sc, Vrije Univ, Brussels, Belgique, 1984,
- [7] ILUNGA, L., "Morphologie, volcanisme et Sédimentation dans le Rift du Sud Kivu" , *Bull.de la société géographique de Liège*, 27, pp. 209-228, 1991,
- [8] ILUNGA, L., "Etude des sites majeurs d'érosion à Uvira (RD Congo)", *Geo-eco-trop*, 30, pp 1-12, 2006,
- [9] KAMPUNZU A.B., RUMVEGERI B .T., KAPENDA D, LUBALA R.T., CARON J.P., "Les kibarides d'Afrique Centrale et Orientale: une chaîne de collision", *UNESCO, Geology for Economic Development Newsletter* 5, pp 125-137, 1986,
- [10] KLERXX J., LIEGEOIS J.P., LAVREAU J., CLAESSEN, W., "Crustal evolution of Northern Kibaran Belt in eastern and central africa", *In: Proterozoic lithospheric Evolution (Kronen, A.eds), American Geophysical Union, Geodynamic series* 17, pp 213-223, 1987,
- [11] LEPERSONNE, J., *Notice Explicative de la carte géologique du Zaïre au 1/2000000*, Kinshasa, Département des Mines, Services Géologiques du Zaïre, 67P.,
- [12] POHL, W., "Metallogeny of the Northeastern Kibarian belt, central- africa-recent perspectives", *Ore geology Review*, pp 105-130, 1994,
- [13] RUMVEGERI, B.T., *Le précambrien de l'Ouest du lac Kivu (Zaïre) et sa place dans l'évolution géodynamique de l'Afrique centrale et Orientale : pétrologie et tectonique*, Thèse Doct. Spéc. Fac. Sc. et Techn. St Jérôme, Vol. I, Marseille, 1987,
- [14] RUMVEGERI B.T., "Tectonic significance of Kibaran Structures in Central and Eastern Africa", *J.Afr.Earth Sc*, 13, pp 267-276, 1991,
- [15] SHUNGU L., BYAMUNGU M., KAMATHE K., MAKABU K., "Géologie des formations kibariennes du secteur de Bishangi (Masisi, Nord Kivu): Etude litho-structurale et métallogénique", *Cahiers du CERUKI, nouvelle série*, N°48, , p39-50, 2015,
- [16] TACK, L., LIEGEOIS, J-P. DEBLOND, A. et DUCHESNE, J.C., "Kibaran A-type granitoids and mafic rocks generated by two mantle sources in a late orogenic setting (Burundi)", *Precambrian Research*, 68, 323 -356, 1994,
- [17] WEISS G., *Le pays d'Uvira*, Memoire in -80, Nouvelle série, Tome VIII, fasc 5 et dernier, bruxelles, 307p., 1959.

Historical research of Twentieth century fashion through designing a specialist website

Olfat Shawki Mohamed Mansour^{1,2}

Apparel Department, Faculty of Applied Arts, Helwan University, Cairo, Egypt

Department of fashion design, college of designs, Qassim University, Saudi Arabia

Copyright © 2018 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 role of fashion in history, is not just confined to the study of dress and costume, but encompasses design and innovation, taste and zeitgeist, treats as its subjects both people and objects, and crosses over into related disciplines such as the history of art, social and cultural conditions, political events and technology. Throughout the 20th century cross-cultural and historical influences exerted a profound impact upon fashion design.

This study explores the decades of the 20th century- every decade had its own personality, which was formed by both the people and the events that dominated it-through explaining how fashion has reflected the social, political, economic, and technological changes, discussing major changes in the fashion industry, describing fashion trends, and naming the major designers and illustrators of the past 100 years.

This study aims to design a specialist website of 20th century fashion, which including as much relevant information about the century fashion as possible and is documented with scientific references. It could be a trusted source for fashion designers, and anyone interested in fashion history.

In order to build a specialist website of 20th century fashion within the domain of usefulness and reliability, many aspects taking into account, such as: information quantity and quality, information sources, evidences, facts, explanation, variety in issues, ease in use the website and adding the author contact.

KEYWORDS: history of fashion; 20th century fashion decades; 20th century fashion designers website for fashion; haute couture.

1 INTRODUCTION

Fashion is fast and forward, challenging and changing, and constantly in motion. It thrives on change, and change is the engine that fuels it [1]. Fashion is the outward and visible sign of a civilization, it is part of social history. The civilization and the social history of the twentieth century have swept right out of the context of previous times. The new look that science, industrial development, technology and social and economic changes have given to nearly every aspect of daily life rubbed off on fashion which, as one the arts mineurs, has always held up its own mirror to life. [2]

20th century fashion began in one particular city-Paris- [3] the place where all the refinements of civilized life reach their fullest expression, from avant-garde art to elegant fashion [4]. During the Second World War, when Paris was isolated by German occupation, Britain and America found that necessity proved to be the mother of invention and they developed their own fashion styles. Post-war prosperity created a youth culture that spawned what is now called street-level or 'underground' fashion. [3]

At the beginning of the 20th century the few big names in fashion, who called themselves "couturiers," considered themselves the keepers of the Holy Grail of haute couture. [5] French haute couture founder is Charles Frederick Worth, an Englishman, though its city of destiny always is Paris [6]. Worth was the first person to understand how to make himself a star. He devised a small cloth label that was embroidered with his jaunty signature, and sewed it into every one of his designs. The brand was born. Worth also launched a new collection once a year, thus introducing the concept of change in fashion as a means of driving sales- a ground breaking innovation that designers still benefit from to this day. [5]

Since then, the great masters of fashion have become legends in themselves and their numbers, because of their influences on fashion is reflective of societal, political, or economic change. For example: Coco Chanel's 1920s Knits, Christian Dior's 1947 New Look, and Yves Saint Laurent's 1960s pantsuit reflect the ever-changing image of women and their role in society. And they had artistic merit include colorful birds of paradise such as Paul Poiret and John Galliano, shy recluses like Cristobal Balenciaga and Martin Margiela, highly sensitive, artistic characters such as Christian Dior and Yves Saint Laurent as well as capable pragmatists such as Coco Chanel and Giorgio Armani [5], [7]. At the end of the 20th century fashion became increasingly spectacular. Catwalk shows by designers like Alexander McQueen and Versace were theatrical displays, commanding international press attention and a host of celebrity guests. [8]

Several threads run through 20th century fashion. Haute couture clothing is exclusive, made-to-measure clothing fitted to the individual's exact proportions. Prêt-à-porter, in contrast, is ready-to-wear. The designer's creations are mass-produced in a range of standardized sizes. Feeding off the trends set by expensive, designer fashion is a host of businesses: dressmakers and mail order catalogues, department stores and high street multiple retailers who now sell cheaper, ready-to-wear fashion. [3]

At the turn of the 20th century it was fashionable for women to wear long skirts, corsets and yards of fabric if they could afford it. For most women, the First World War drove all preoccupation with fashion from the mind and forced them into working clothes and uniforms- and of course mourning garments. The 1920s and 1930s saw hemlines rise and a set of couture fashion houses emerged which designed clothes that reflected the growing desire for clothes that helped people to enjoy themselves. Rationing during the Second World War and economic downturns had a radical effect on fashion during the 20th century. Many fashion houses closed during the war as most women could not afford to buy clothes that weren't necessities and many materials became unavailable. As the war continued, women devised a new mix-and-match formula to stretch their wardrobes. Suits gave way to contrasting shirts and skirts. British Vogue patriotically focused on DIY fashion and 'Make Do and Mend'. [3], [5], [9]

After the end of the war, innovations in textiles technology resulted in the manufacture of new synthetic fibres (such as nylon, polyester and acrylic) which created a consumer market for affordable, easy care clothing. By the end of 1950s, a new emphasis people had emerged. Rock and roll, a new music style, featured youthful performers and helped fuel the focus on youth. Fashion traditions were broken in 1960s; a new category of women's fashions- termed 'Junior'- were designed to suit the leaner and less curvaceous youthful figure. The 1970s were characterized by gypsy dresses, and both sexes wore bell-bottom pants, while the later years of the decade gave rise to the anti-fashion, anarchistic punk look. Eighties fashions reflected the economic boom and were typified by power dressing. The working woman's image of aggressive femininity was expressed in her clothes, gaudy colors and conspicuous consumption while, in contrast, 1990s style became minimalist. The effects of the expansion of mass production and mass merchandizing of the 1980s led to the homogenization of the 1990s. Many other styles from the '90s also continued on into the '00s, but just became more refined. The overall styles of the 2000s are best described as polished versions of earlier fashions, honing in on the basics to create new styles that were inspired by the past. At the end of the 20th century, fashion had entered an age of pluralism. There was no single trend, but something for everybody if anything, designers were inspired by fabric innovations and new ways of construction. As attitudes towards women changed during the century, so did their clothing; the cycle of change was endless. Certain looks and silhouettes recur throughout the period. Meanwhile, present day styles are evidence that fashion is cyclical with the rise in popularity of real vintage and vintage-inspired clothes. [3], [7], [9], [10], [11].

Fashions and styles have changed dramatically over the decades in the 20th century. Throughout the century the role of the women in society, youth culture, music and film, the two major war and the industrial developments exerted a profound impact upon fashion design. 20th century fashion is a rich inspiration source for designers. Designer clothing and accessories were once again at the forefront of fashion. Fashions revive and renew over the decades. It is interesting to see how ideas from the past are often reinterpreted for today's fashion.

This study examines how and why fashion evolves and changes and the factors that effect it, focusing on the development of fashion design and how it has grown into a major force for the future and how key designers and illustrators relate to fashion throughout the decades. This study is addressed to fashion designers and anyone interested in fashion history through a specialist and documented website, so that, they can on the cutting edge of what is happening in the 20th century known as fashion.

2 MATERIALS AND METHODS

In this study, information is collected from trustworthy sources, taking into account gathering of as much relevant information about the 20th century fashion as possible, the rigorous collection and organization of evidence, and the

verification of the authenticity and veracity of information and its sources. This information based on facts and doesn't reflect bias.

Information is sorted and divided into the main titles of the study, 20th century fashion (Influences, Decades, Trends, Designers, Illustrators, Haute couture and Gallery). Each title includes subtitles, as follows: The first title "Influences" includes political, social and culture conditions, fashion trends and development and arts and other influences. This title examines the factors that affected the fashion during the 20th century. The second title "Decades" includes the decades of the 20th century (The Belle Époque 1900-1914, Suited and Booted 1914-1919, Boom and Bust 1920-1929, The Glamour years 1930-1938, Make, Do and Mend 1939-1946, New World-New Look, Minis and Mods 1957-1966, The Daisy Age 1967-1978, Dress to Empress and Back to Basic 1988-2000). This title looks at the prevailing fashion trends through the way in which they impact social history and explores the main features of each decade which supported by images. The third title "Trends". This title highlights the trends of the 20th century divided per four years. The fourth title "Designers" includes the key designers relate to fashion during the 20th century (Paul Poiret, Mariano Fortuny, Madeleine Vionnet, Coco Chanel, Elsa Schiaparelli, Gilbert Adrian, Christian Dior, Cristobal Balenciaga, Yves Saint Laurent, André Courrèges, Vivienne Westwood, Jean Paul Gaultier, Gianni Versace, Christian Lacroix, Valentino, John Galiano, Giorgio Armani, Donna Karan, Alexander McQueen and Dolce& Gabbana). This title underpins designers' ideas, informs the shapes and proportions they use, influences the materials they choose to work with and determines the techniques they employ to put them together. The fifth title "Illustrators" includes masters of fashion illustration during the 20th century. This title describes their career and major works. The sixes title "Haute Couture", which explores the history of the haute couture during the 20th century, its techniques and atelier. The last title "Gallery" includes images of the clothes which reflects the main features of each decades of the 20th century.

After that, the website creation was initiated, starting with choosing a domain name (www.20centuryfashion.com), registering it, and then purchasing web hosting for the website. Identifying the website target audience and finalizing the graphical user interface (GUI) has been performed prior to figuring out what it is that the potential customers search for, which is knowing as the Search Engine Optimization (SEO) task. The next step was to create the website structure, designing wireframes, defining and implementing the styling guidelines, using the Cascading Style Sheets (CSS). The website core modules has been built using the most recent version of WordPress Content Management System (CMS), in addition to other Web technologies, such as: HTML 5, Javascript, PHP, and MySQL Database. After finalize building the website core structure the next step was to transfer the study information into website pages where the main titles of the study are the main sections of the website. The final task was to to test all the website modules, including all the developed pages and the website core functions; followed up with any needed debugging and/or fixing to ensure the full functionality of the website and the friendly use by the website target audience.

3 RESULTS

Pages backgrounds of the website were designed by using Adobe Photoshop CS6. The homepage includes the name of the website, links, and two outfits, one of them belongs to 1900s and the other belongs to 1990s. The design of the homepage reflects the dramatical changes that occurred during the century. Each page contains a menu bar at the top of the screen, which contains all the website links, such as Home, About, Influences, Designers, Trends, Decades, Illustrators, Haute Couture, Gallery, and References. Each link name can be seen in a large scale which lies vertically on the right side of its respective page. The pages design provides the best task flow for the user. Pages backgrounds were added to the website and Information of the study were transferred to the website. The following figures show the pages of the website provided with their respective explanation.



Fig. 1. Website homepage

Fig. 1 shows Website homepage: By clicking on a certain link, the user is redirected to its related page

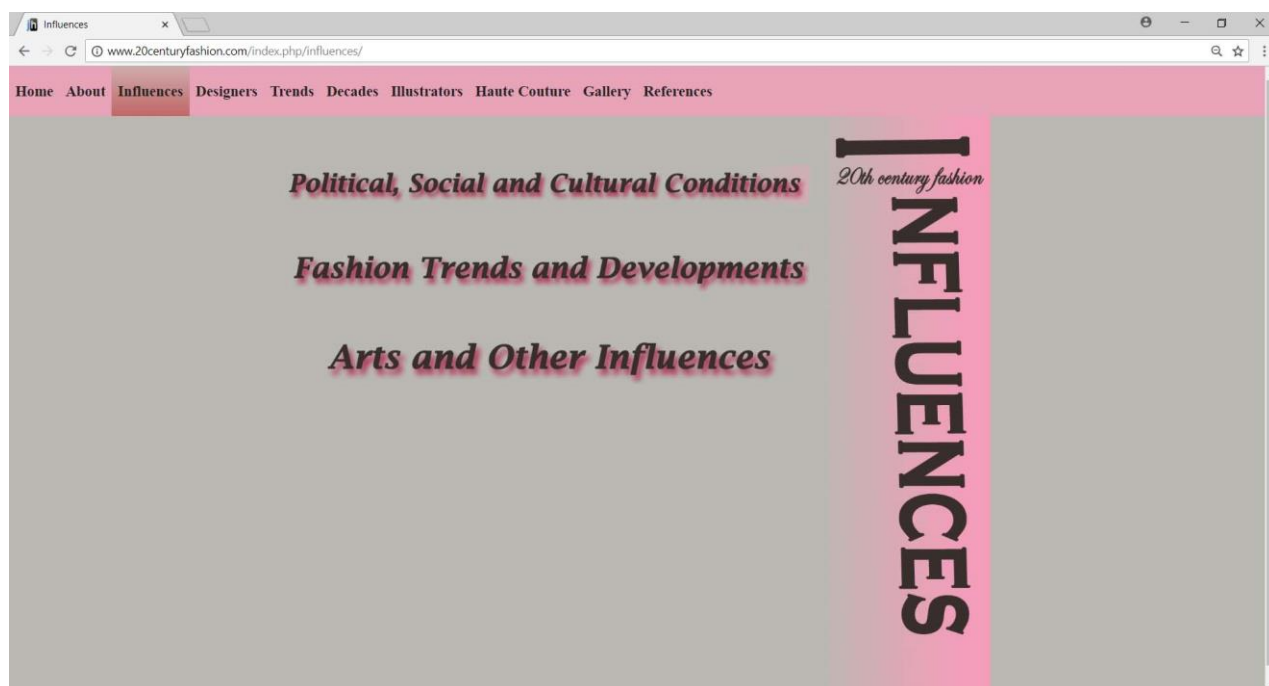


Fig. 2. "Influences" page

Fig. 2 shows "Influences" page: the page contains three links, by clicking on a certain link, the user is redirected to its related page.

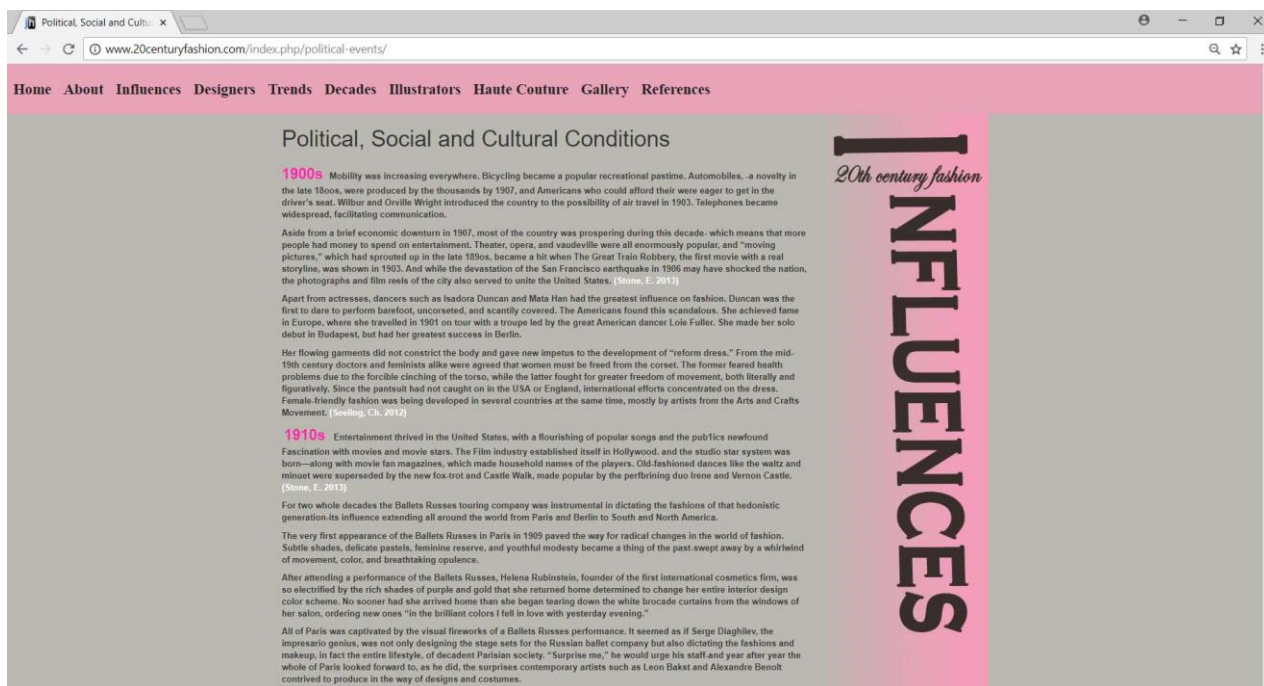


Fig. 3. "Political, Social and Cultural Conditions" first subpage

Fig. 3 shows "Political, Social and Cultural Conditions" first subpage: Information was divided into decades that began in 1900s and ended in 1990s.

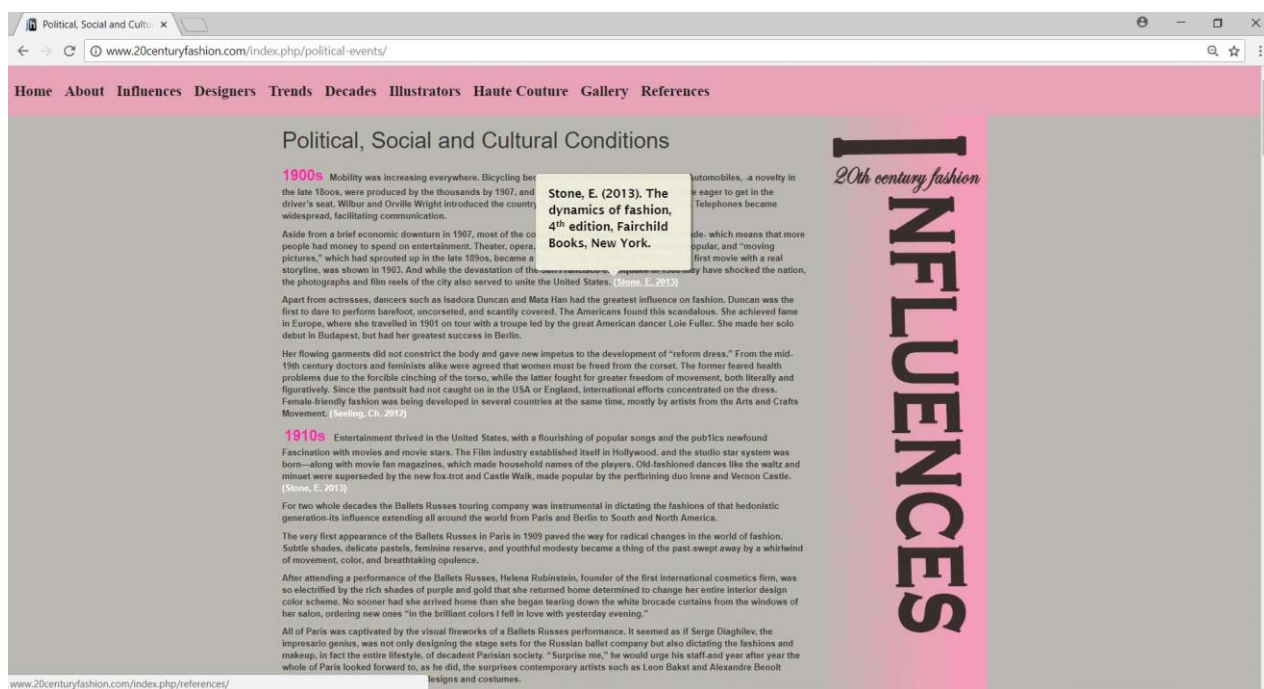


Fig. 4. "Political, Social and Cultural Conditions" first subpage

Fig. 4 shows "Political, Social and Cultural Conditions" first subpage: Information was documented with references. When the cursor is hovered over the reference, a box pops up showing the full reference. This action is applied to all pages that contain references.

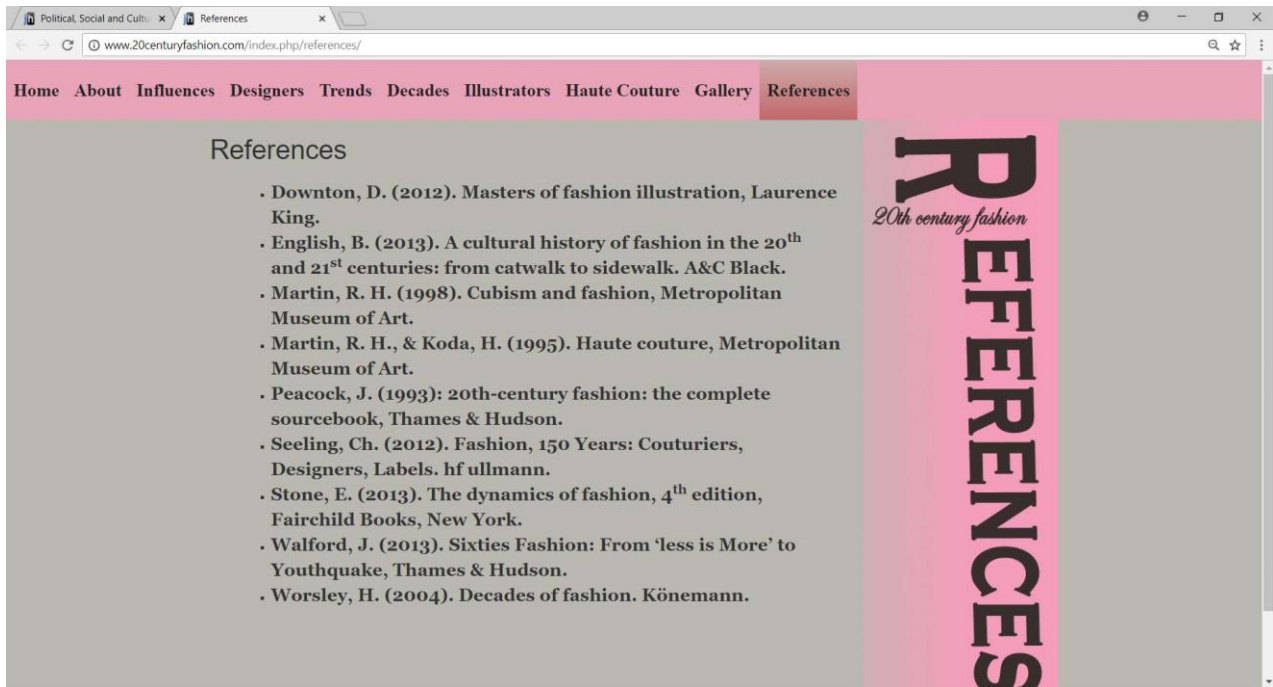


Fig. 5. "References" page

Fig. 5 shows "References" page: by clicking on the reference, the user is redirected to "references" page.

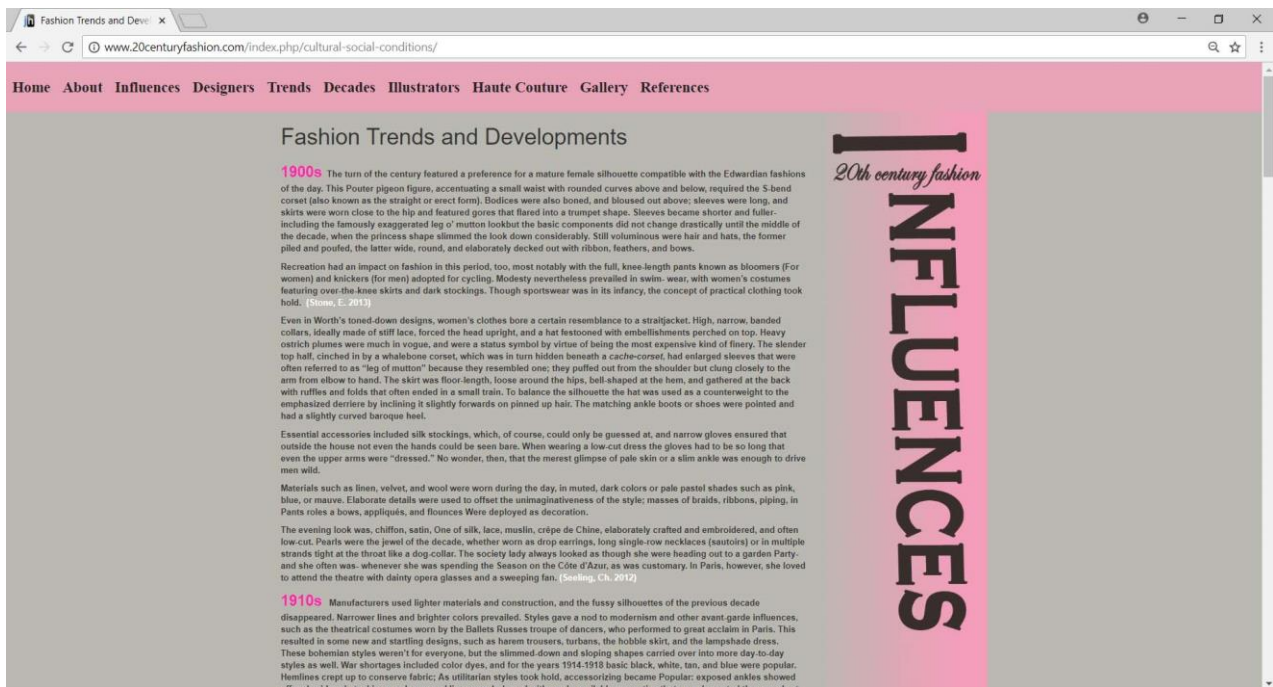


Fig. 6. "Fashion Trends and Developments" second subpage

Fig. 6 shows "Fashion Trends and Developments" second subpage: Information was divided into decades that began in 1900s and ended in 1990s.

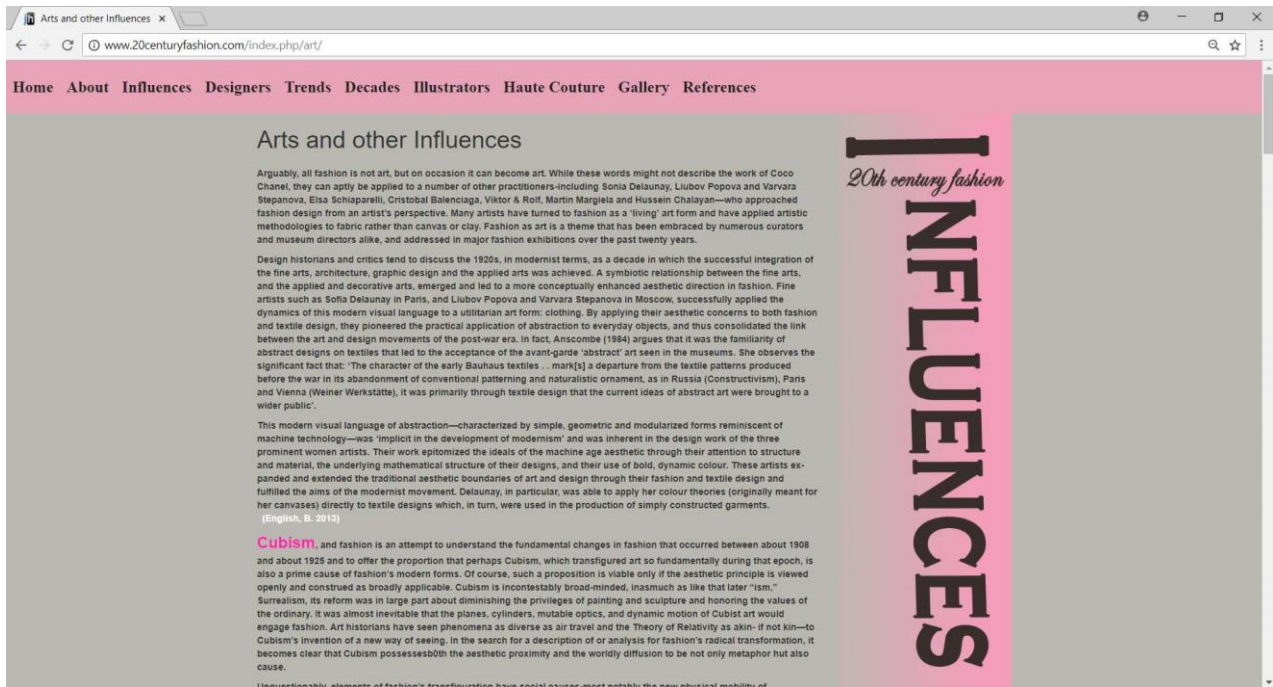


Fig. 7. “Arts and other Influences” third subpage: Information describes the arts that affected fashion during 20th century, focusing on cubism and surrealism.

Fig. 7 shows “Arts and other Influences” third subpage: Information describes the arts that affected fashion during 20th century, focusing on cubism and surrealism.

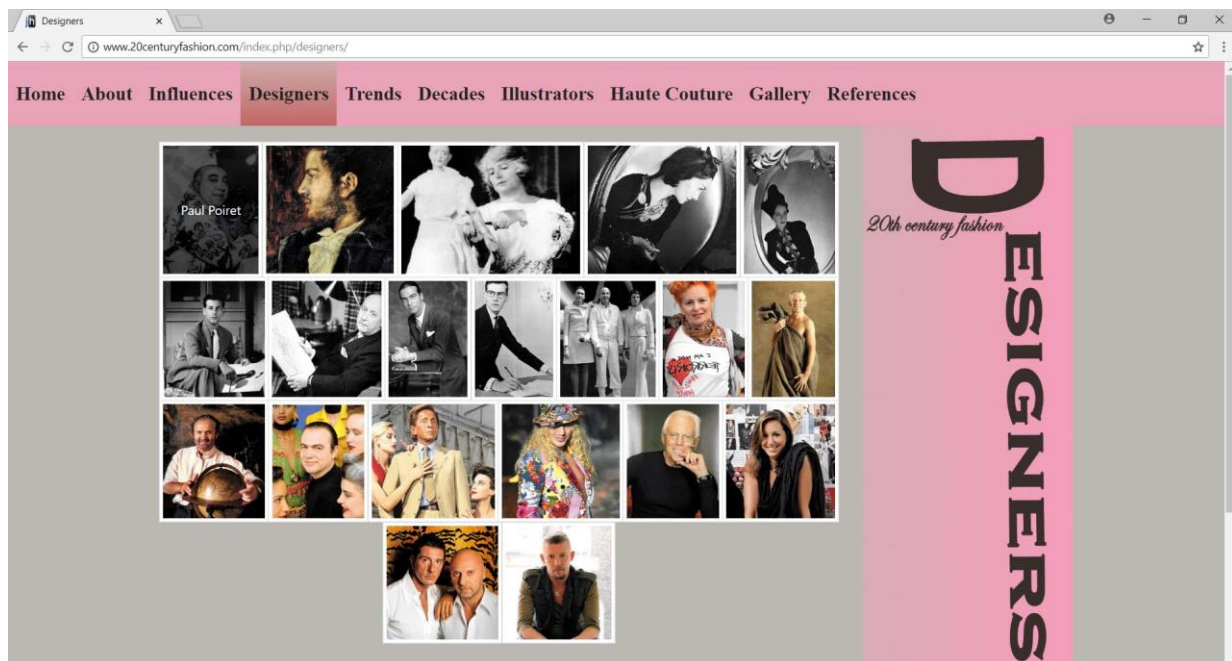


Fig. 8. “Designers” page

Fig. 8 shows “Designers” page: The page contains the images of the designers relate to fashion during the 20th century. When the cursor is hovered over the designer’s image, his name appears.

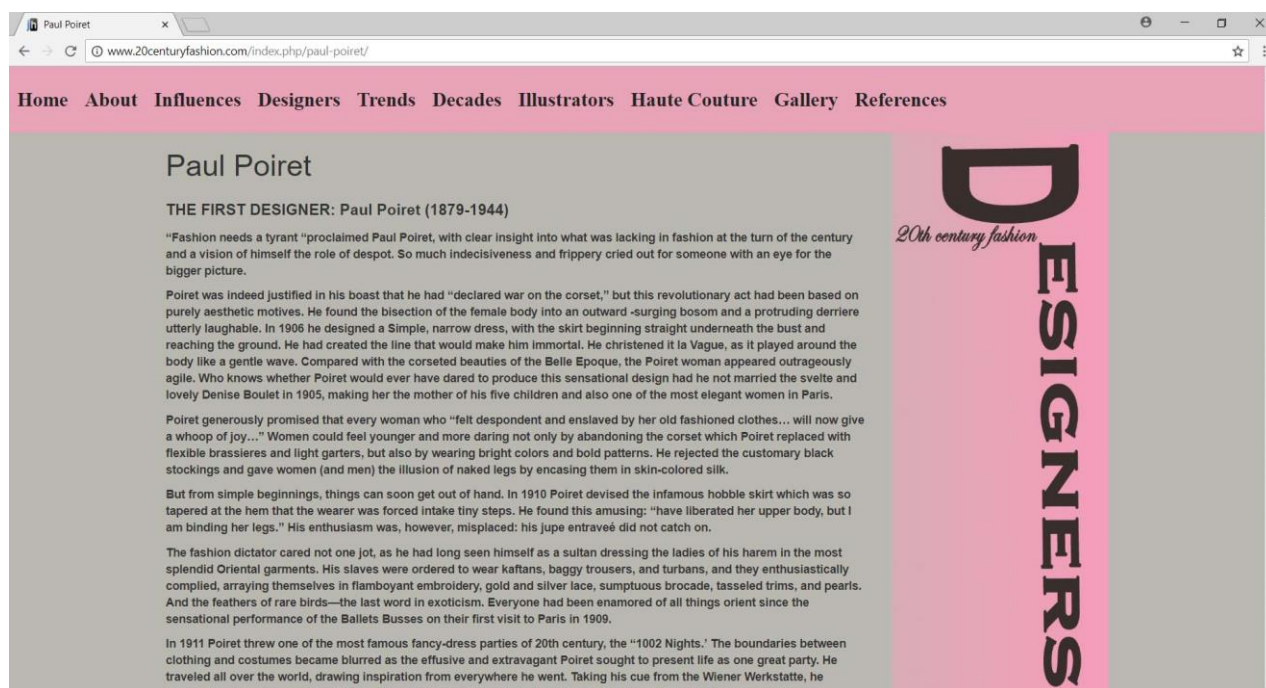


Fig. 9. "Paul Poiret" first subpage

Fig. 9 shows "Paul Poiret" first subpage: By clicking on the designer's image, the user is redirected to its related page.

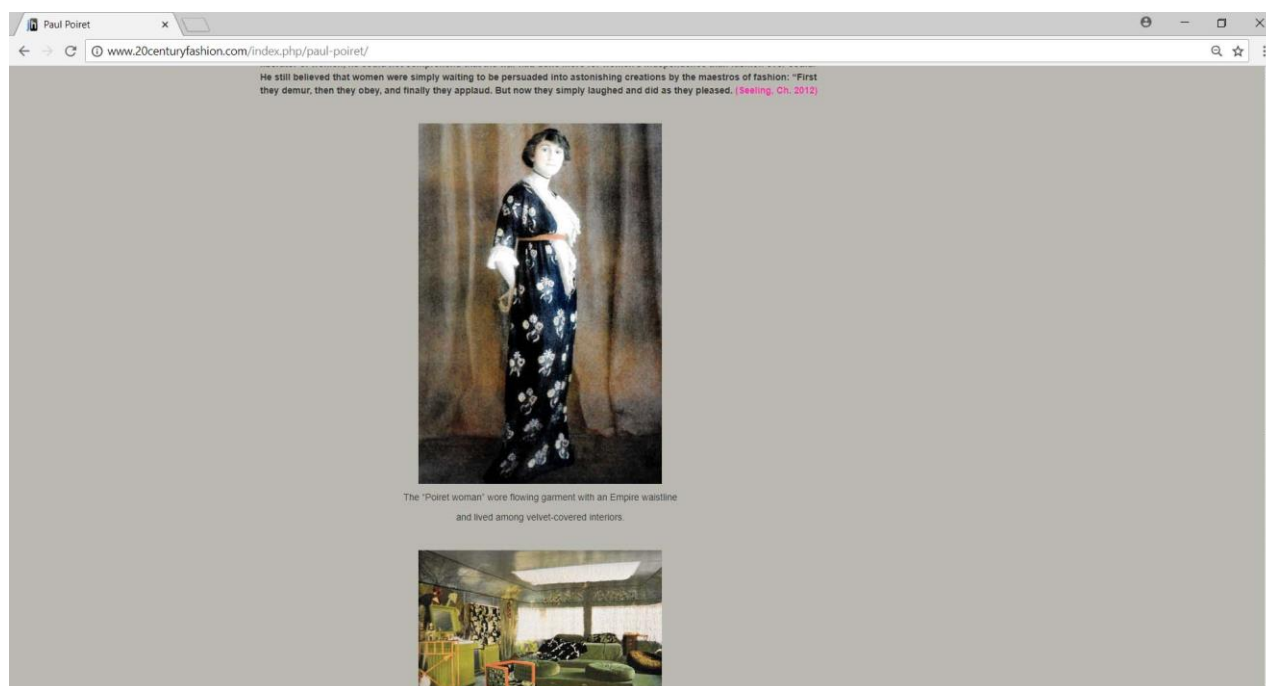


Fig. 10. "Paul Poiret" first subpage

Fig. 10 shows "Paul Poiret" first subpage: The information of the designer is supported by images of his major works.

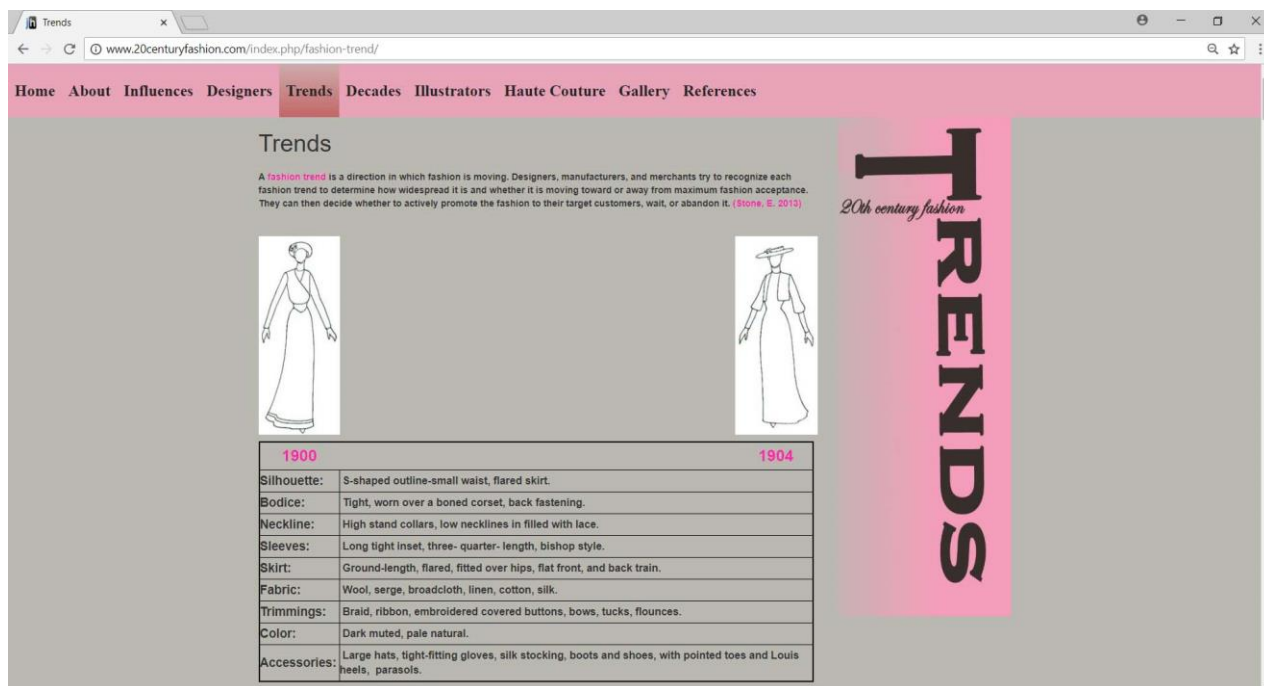


Fig. 11. "Trends" page

Fig. 11 shows "Trends" page: This page contains the meaning of the word 'fashion trend' and highlights the trends of 20th century fashion which divided into periods (per 4 years). Each period is placed in a table and includes two outfits, one belongs to the beginning of the period and the other belongs to its end.

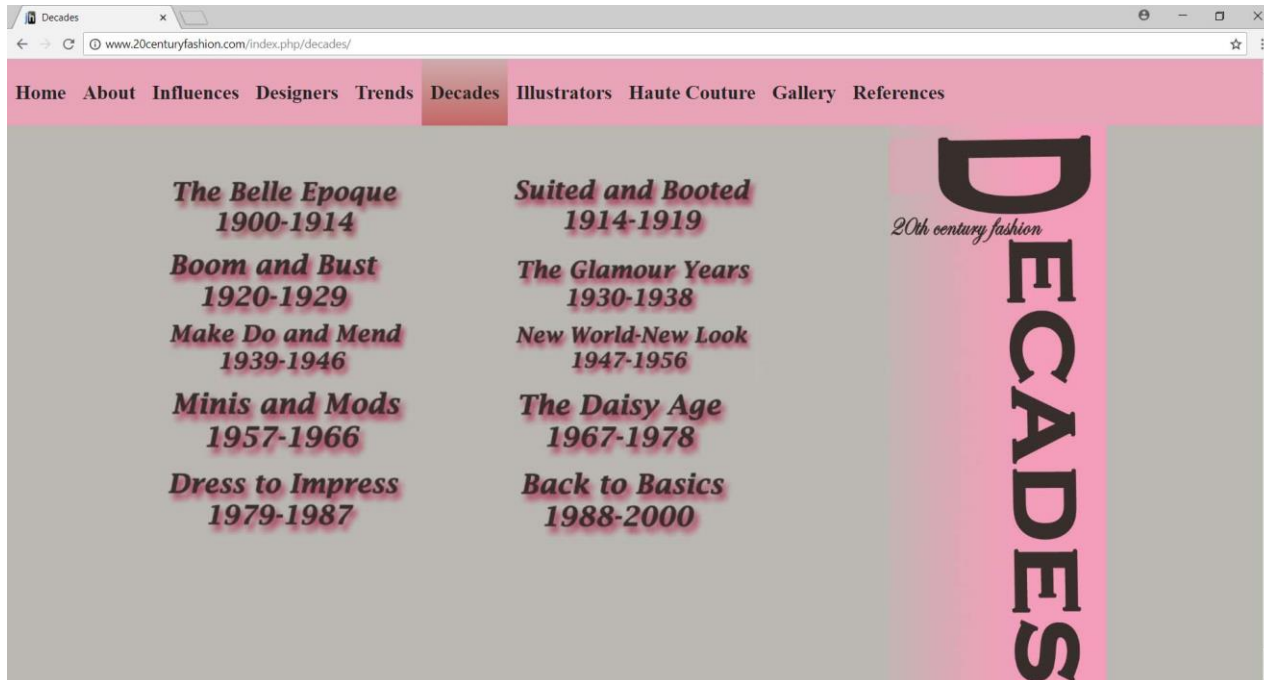


Fig. 12. "Decades" page

Fig. 12 shows "Decades" page: the page contains ten links refers to the decades of the 20th century fashion, by clicking on a certain link, the user is redirected to its related page.

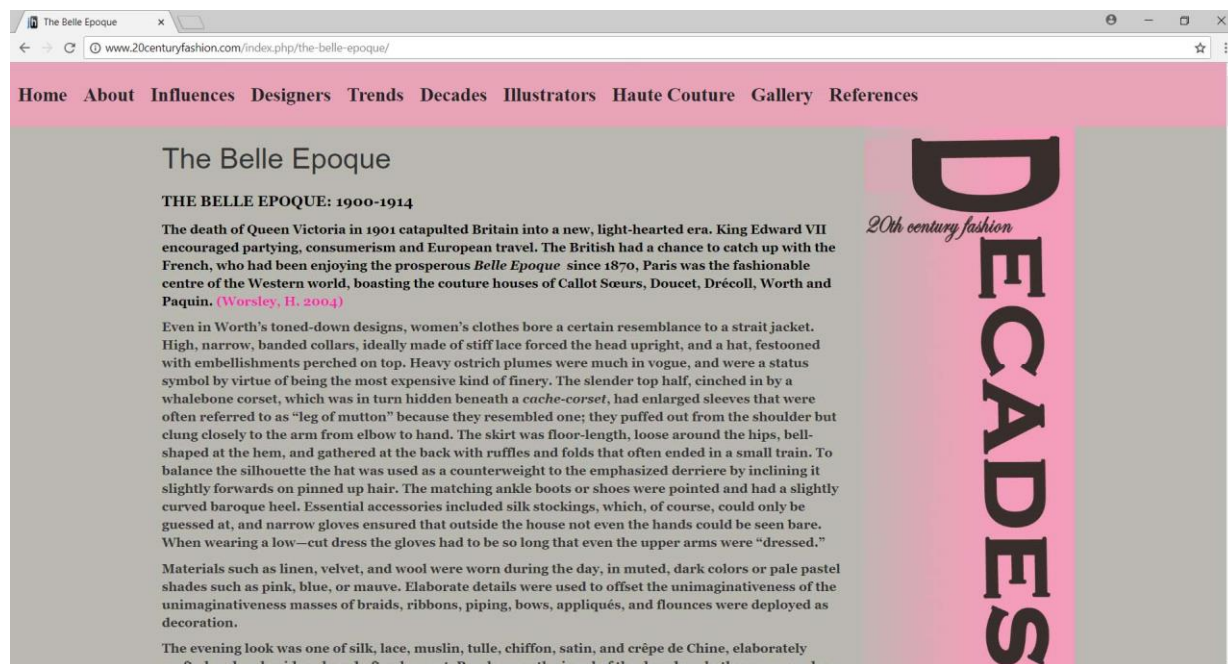


Fig. 13. "The Belle Époque 1900-1914" first subpage

Fig. 13 shows "The Belle Époque 1900-1914" first subpage: This subpage explores the main features of the decade.

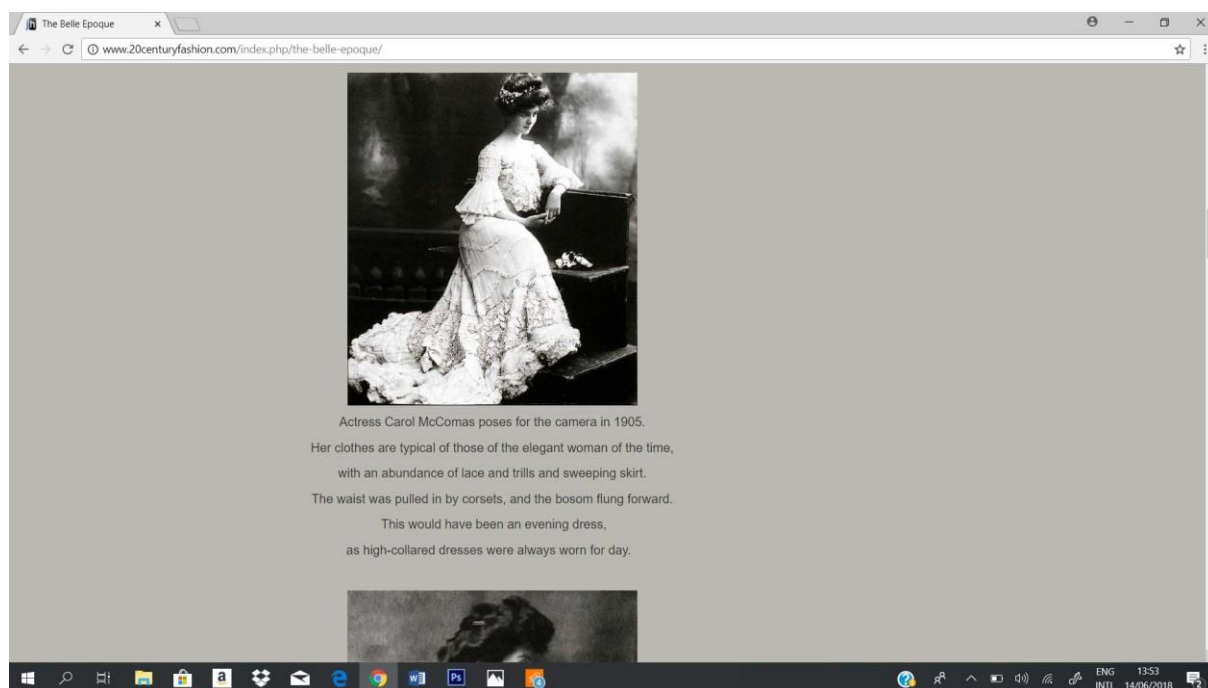


Fig. 14. "The Belle Époque 1900-1914" first subpage

Fig. 14 shows "The Belle Époque 1900-1914" first subpage: Images of outfits that reflect the features of the decade.

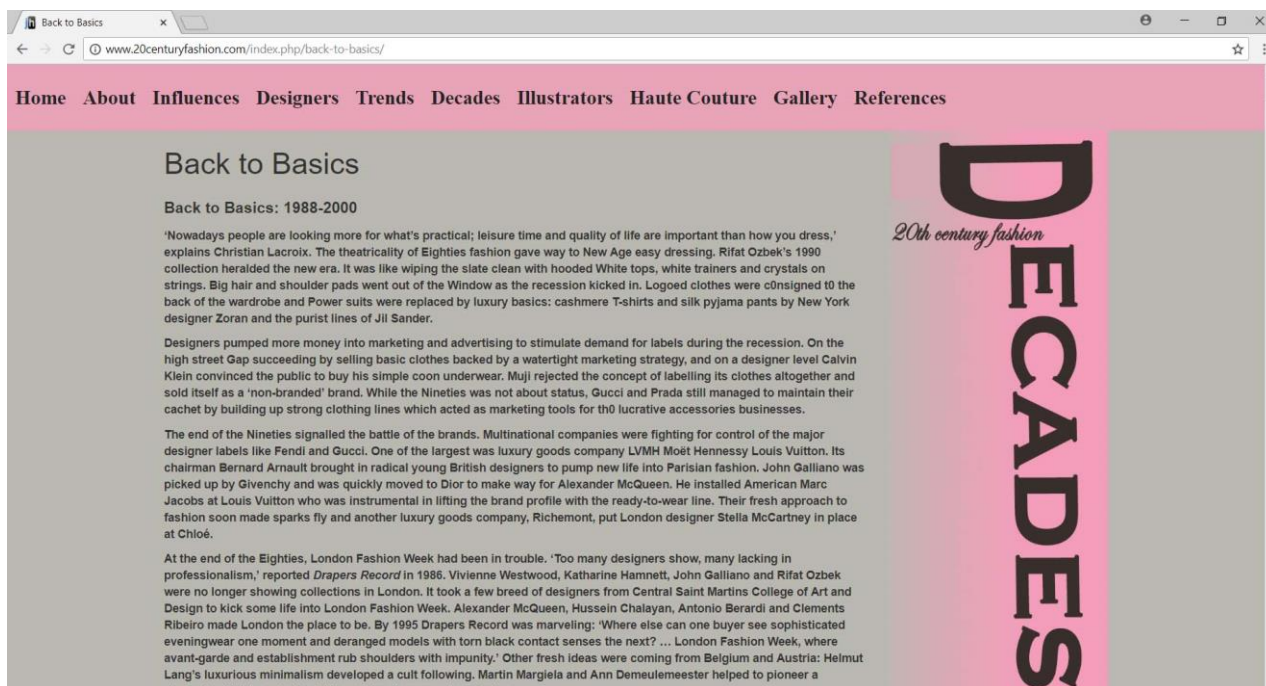


Fig. 15. "Back to Basics" last subpage

Fig. 15 shows "Back to Basics" last subpage: This subpage explores the main features of the decade.

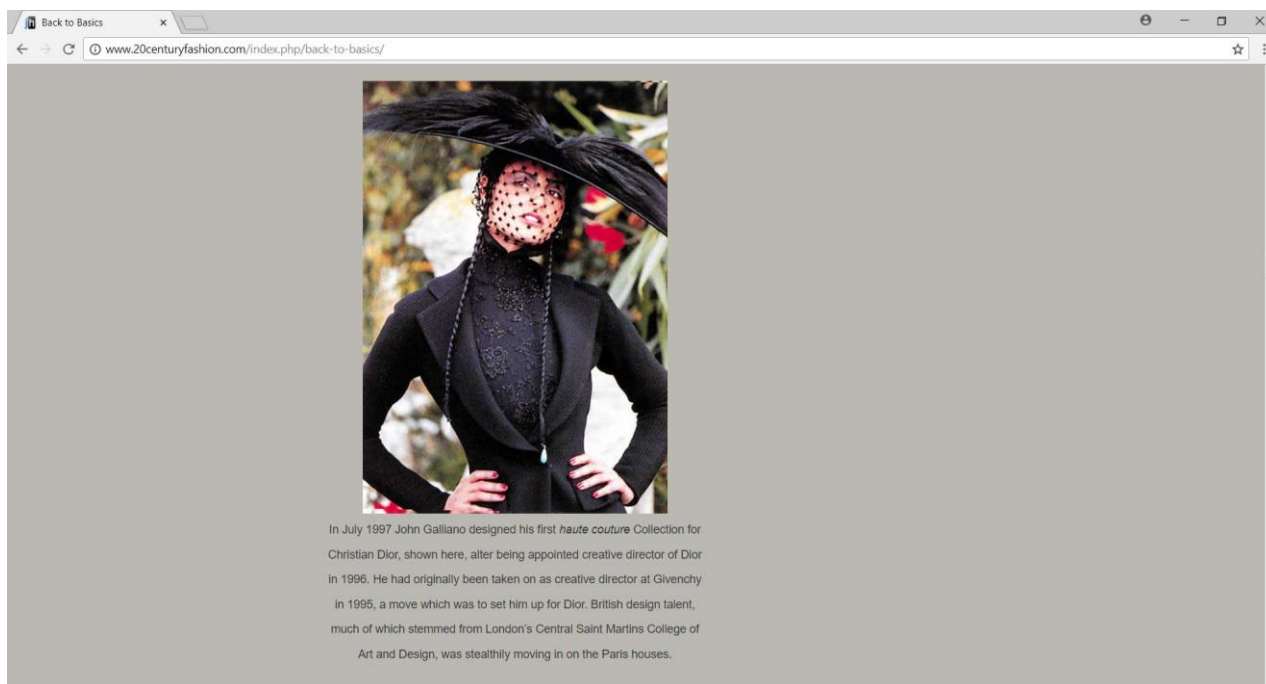


Fig. 16. "Back to Basics" last subpage

Fig. 16 shows "Back to Basics" last subpage: Images of outfits that reflect the features of the decade.

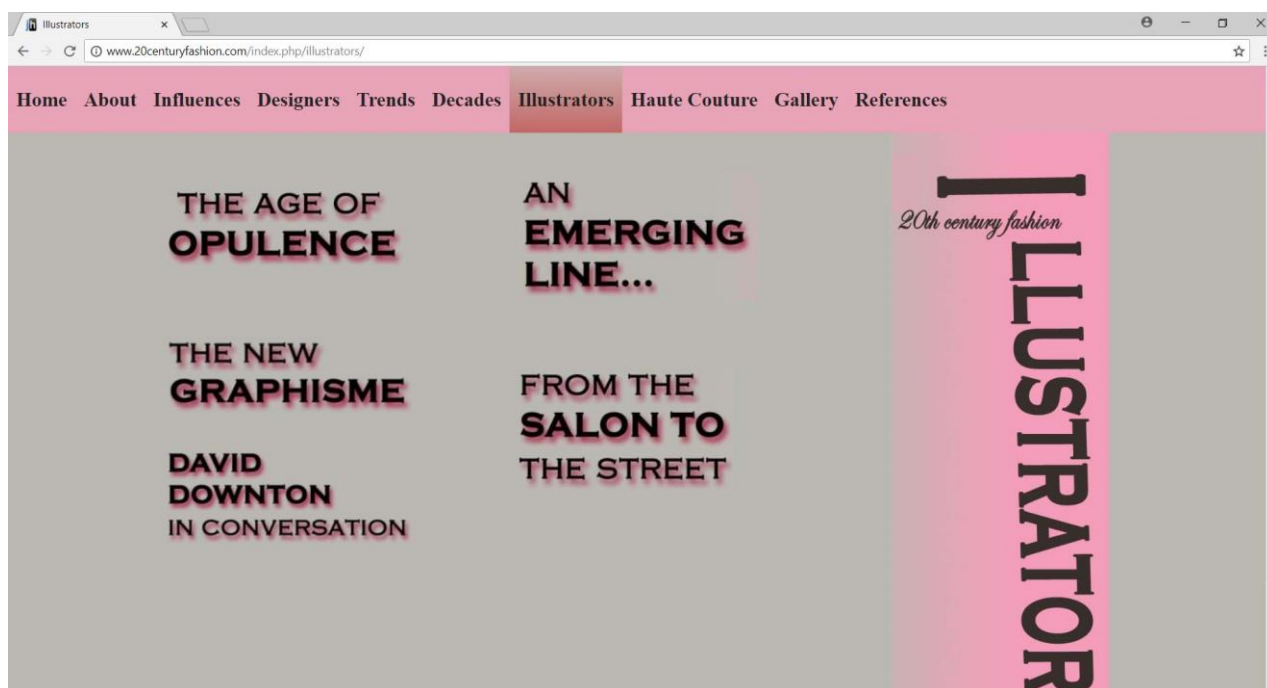


Fig. 17. "Illustrators" page

Fig. 17 shows "Illustrators" page: this page contains five links refers to the categories of the 20th century fashion illustrators, by clicking on a certain link, the user is redirected to its related page.

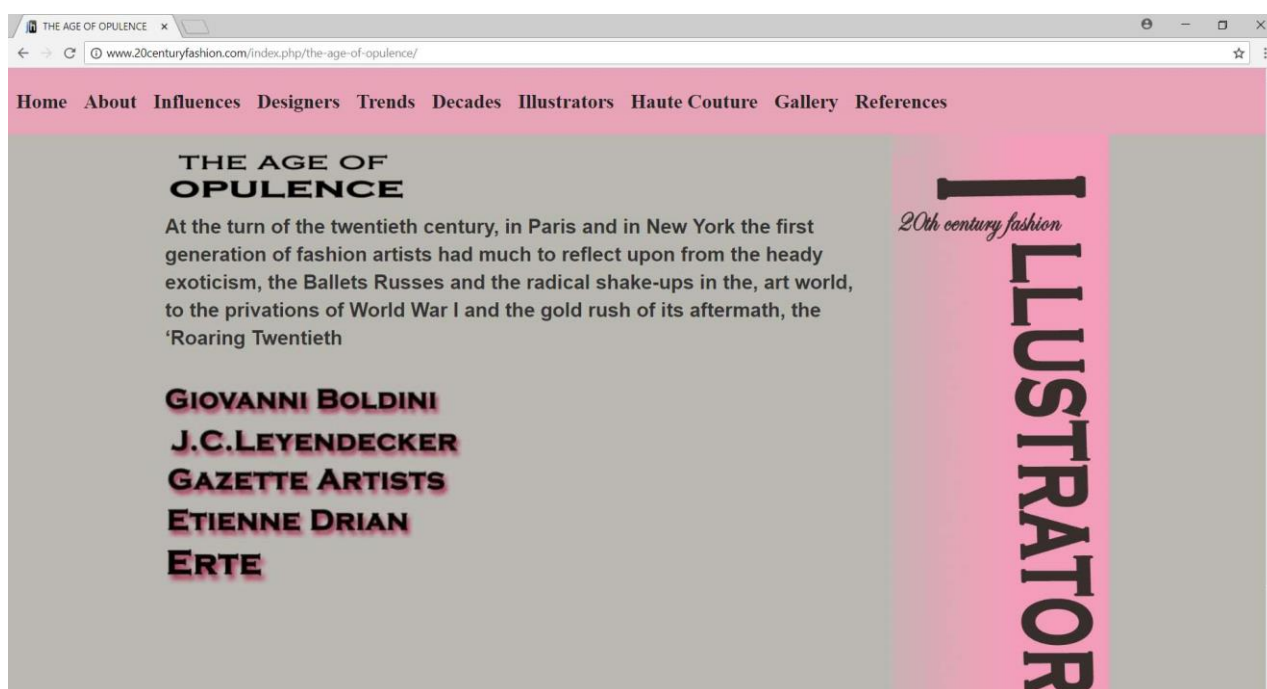


Fig. 18. "THE AGE OF OPULENCE" first subpage

Fig. 18 shows "THE AGE OF OPULENCE" first subpage: The page contains an introduction of this category and five links for the main Illustrators names of it.

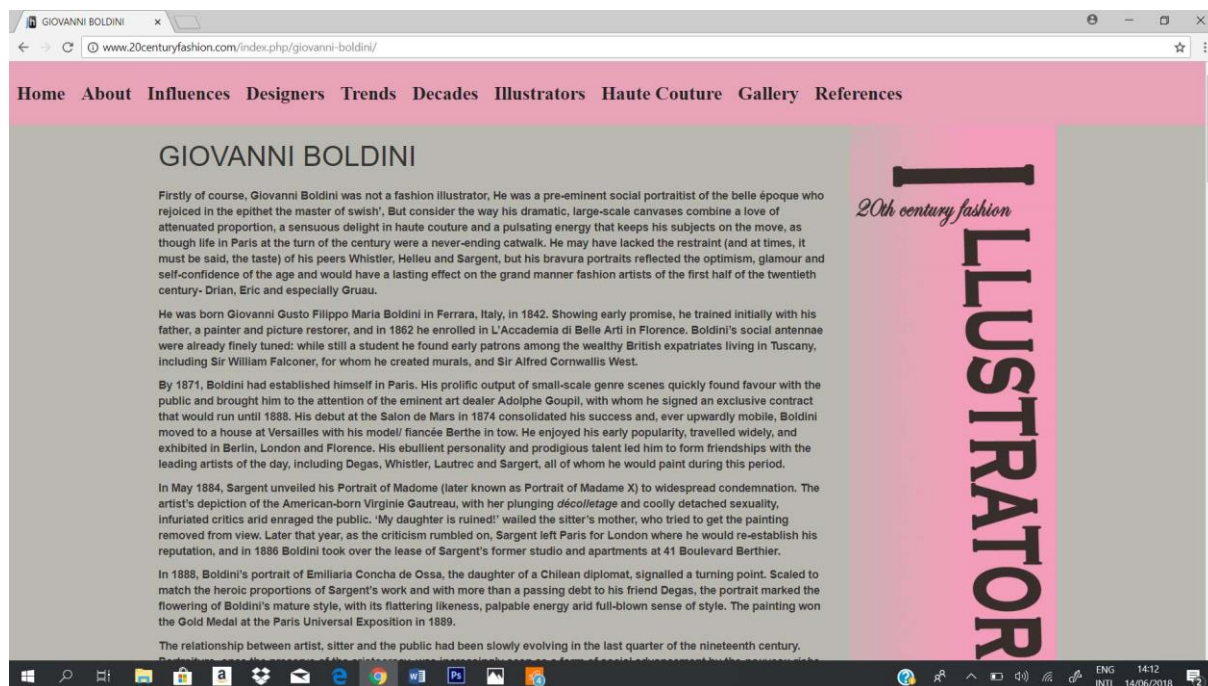


Fig. 19. "GIOVANNI BOLDINI" first sub-subpage

Fig. 19 shows "GIOVANNI BOLDINI" first sub-subpage: Describes the fashion illustrator's career and his major works.

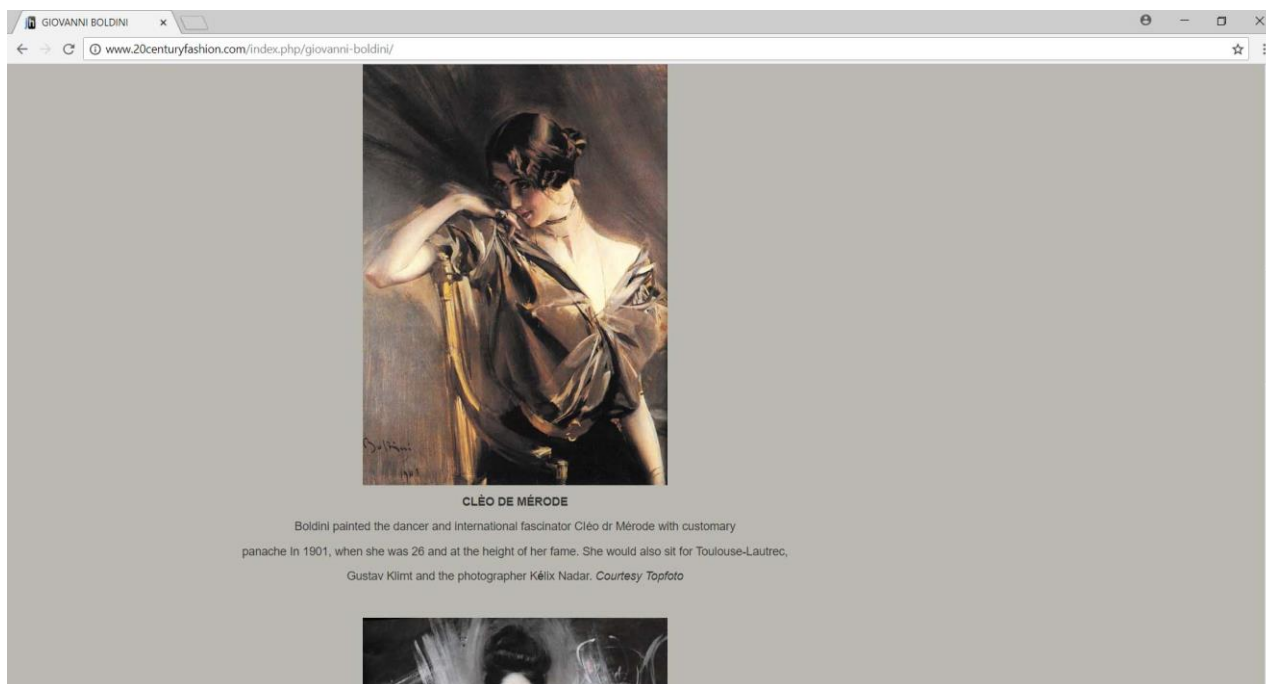


Fig. 20. "GIOVANNI BOLDINI" first sub-subpage

Fig. 20 shows "GIOVANNI BOLDINI" first sub-subpage: Images reflects the fashion illustrator's major works.

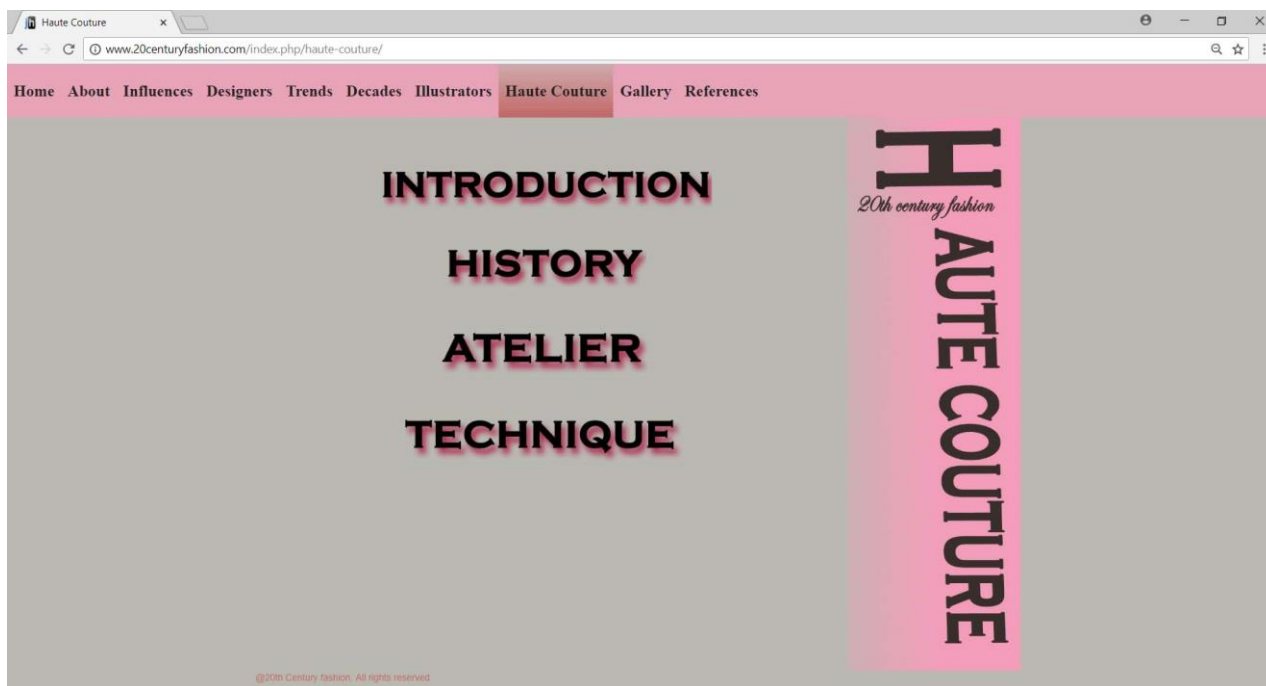


Fig. 21. "Haute Couture" page

Fig. 21 shows "Haute Couture" page: this page contains four links includes introduction, history, atelier and technique of haute couture during the 20th century, by clicking on a certain link, the user is redirected to its related page.

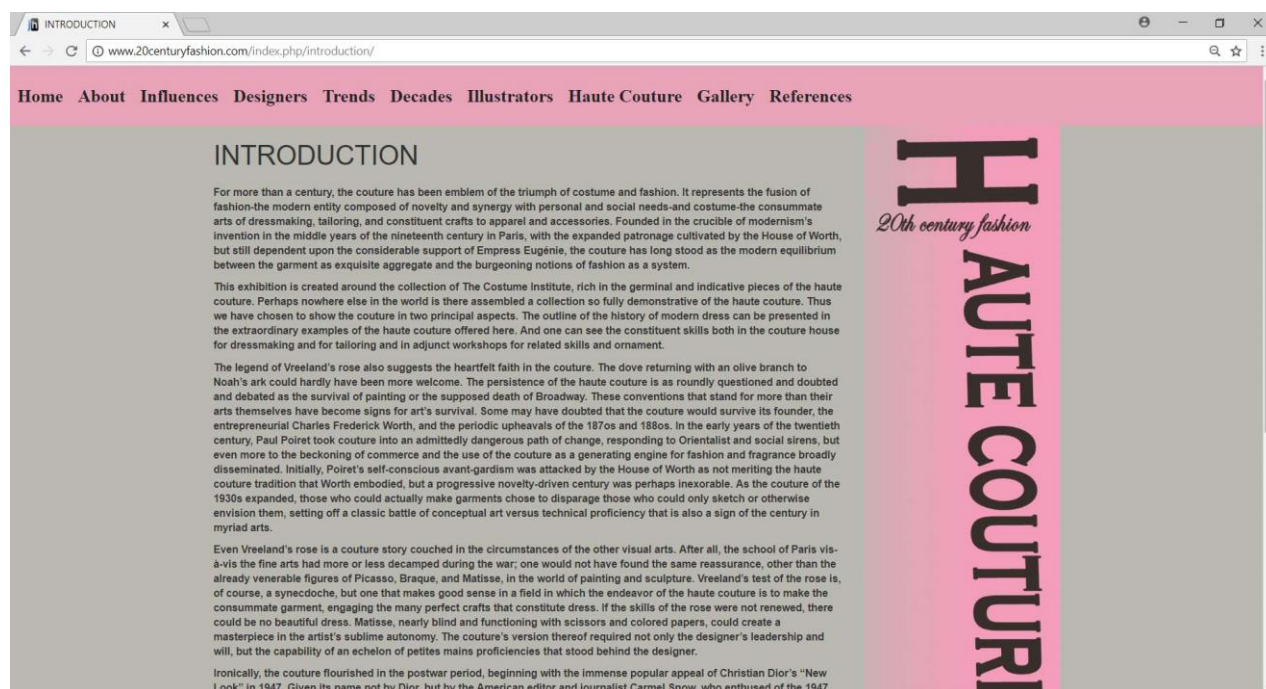


Fig. 22. "Introduction" first subpage

Fig. 22 shows "Introduction" first subpage: This subpage presents the meaning of haute couture and its beginning.



Fig. 23. "History" second subpage

Fig. 23 shows "History" second subpage: This subpage explores the history of haute couture during the 20th century.

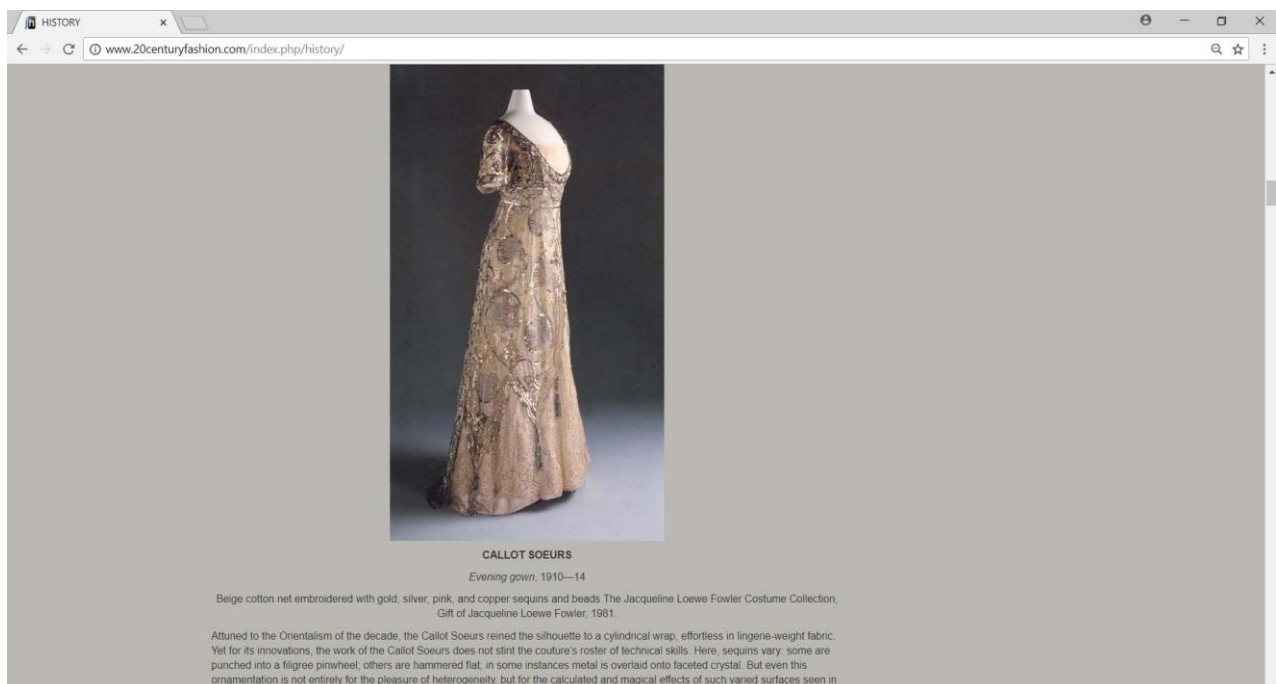


Fig. 24. "History" second subpage

Fig. 24 shows "History" second subpage: Images were placed to support the information.

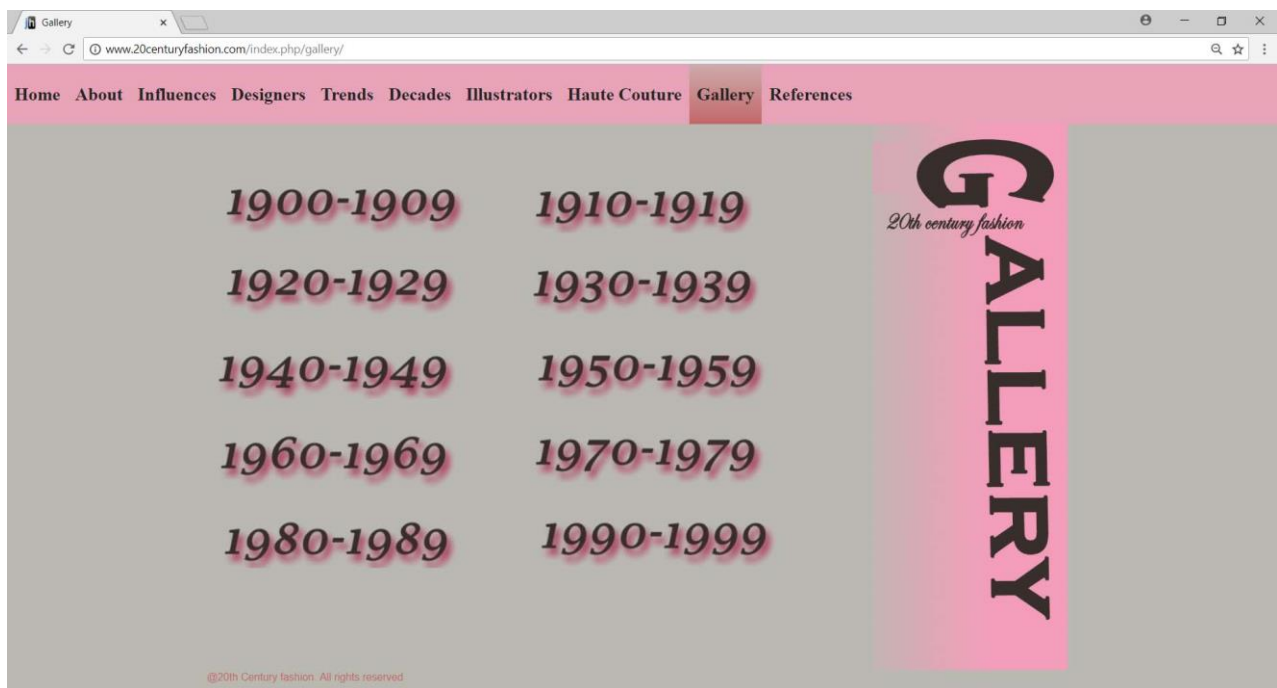


Fig. 25. "Gallery" page

Fig. 25 shows "Gallery" page: This page contains ten links, which refer to the periods during the 20th century. By clicking on a certain link the user is redirected to its related page.

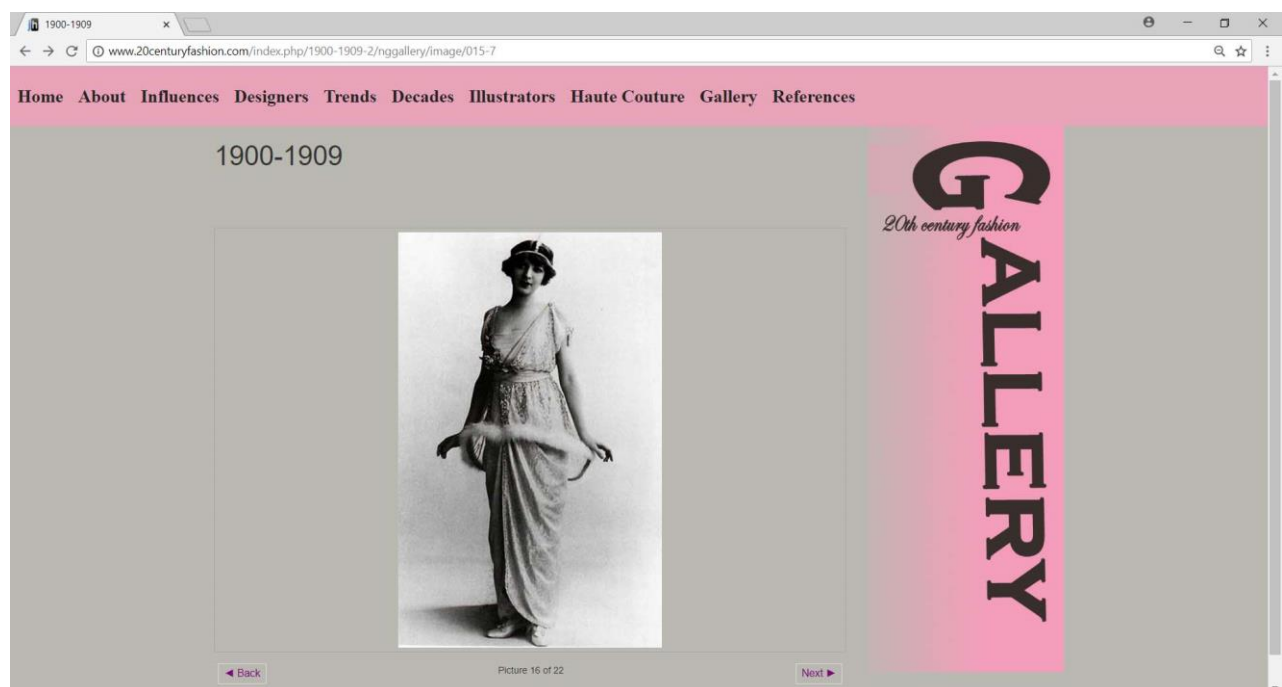


Fig. 26. "1900-1909" subpage

Fig. 26 shows "1900-1909" subpage: The subpage contains images, which reflect the main features of clothes during the period '1900-1909'. There are two buttons 'back & next', which lead the user to call the previous or next image.

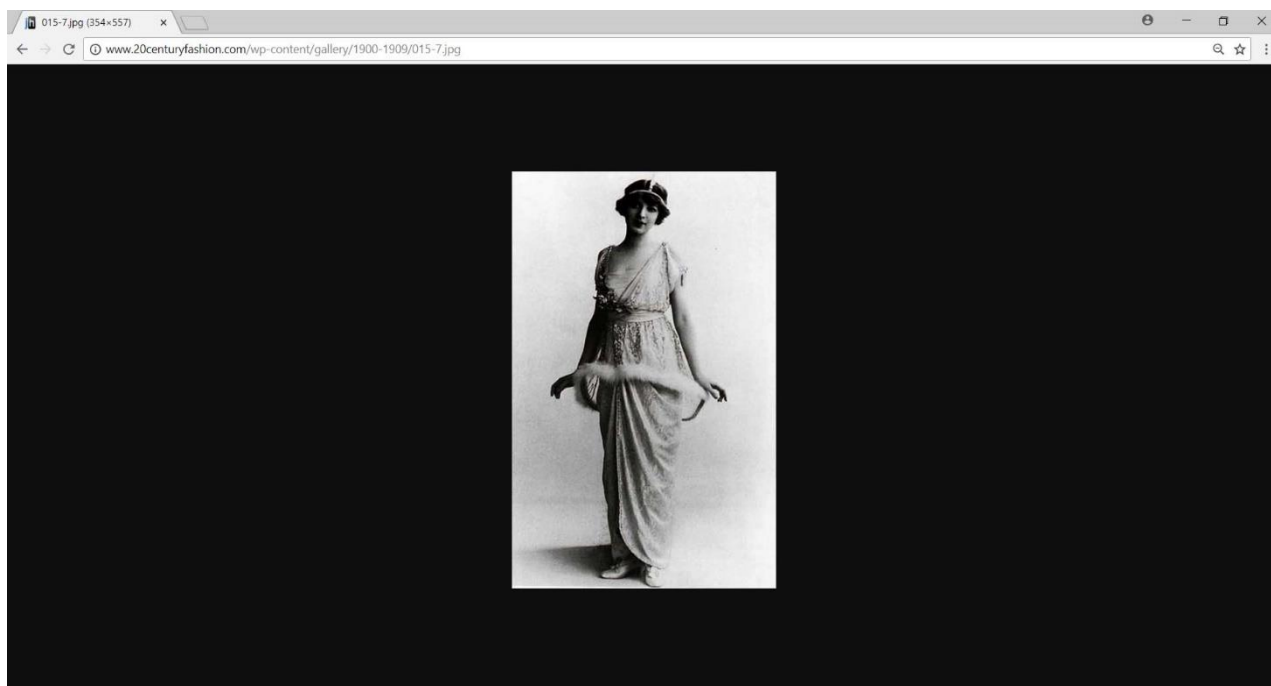


Fig. 27. Separate page: By clicking on the image, it will be opened in a separate page.

Fig. 27 shows Separate page: By clicking on the image, it will be opened in a separate page.

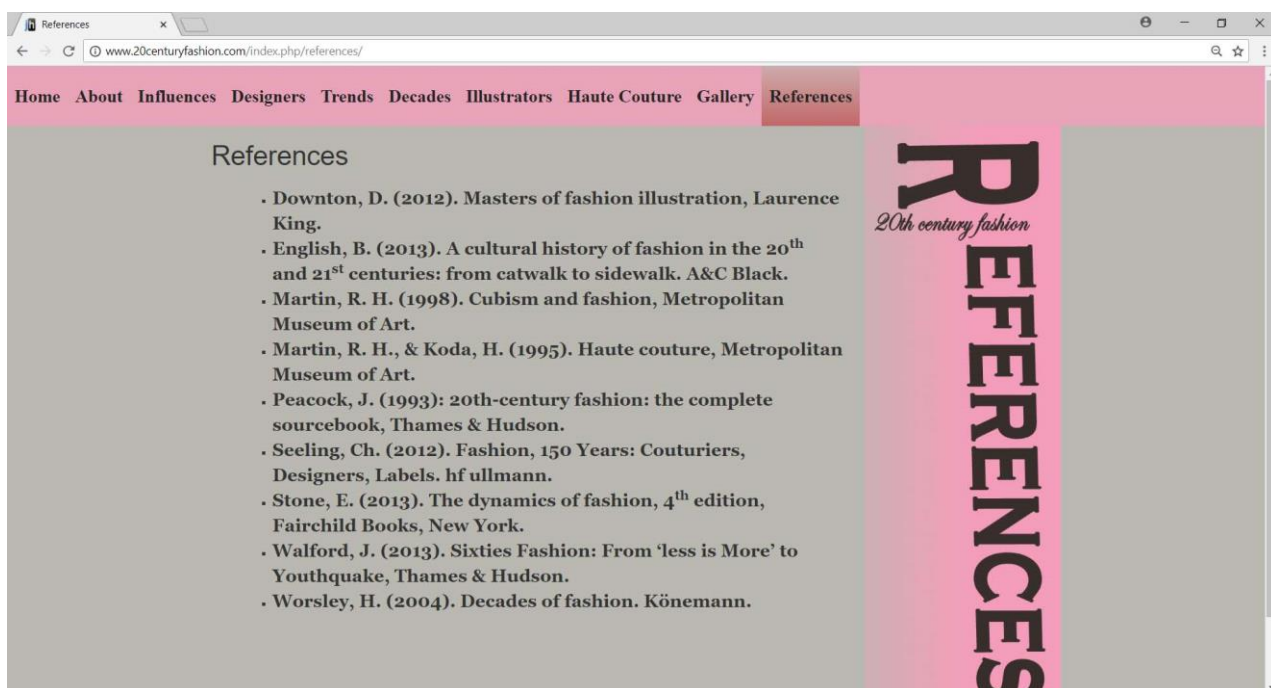


Fig. 28. "References" page

Fig. 28 shows "References" page: This page contains the references of literature that used in collecting the information.

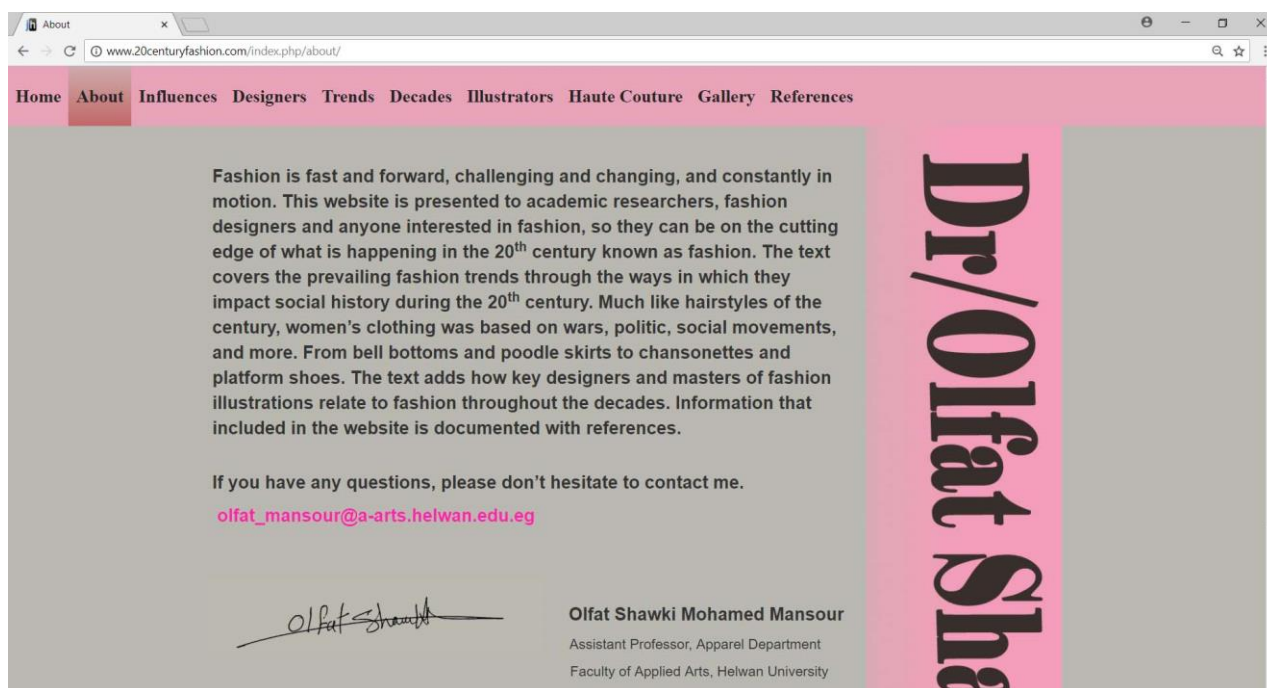


Fig. 29. "About" page

Fig. 29 shows "About" page: This page contains an introduction of the website and the researcher's name, career, and e-mail.

4 DISCUSSION AND CONCLUSION

Fashion designer Coco Chanel said, "Fashion is not something that exists in dresses only. Fashion is in the sky, in the street; fashion had to do with ideas, the way we live, what is happening" (Kass, 2011). Fashion can be viewed as an expressive art, with the human body as its canvas, and as a representation of one's class, career, imagination, and mood. During the 20th century decades, fashion evolved tremendously. The changes in political, economic, social, cultural and technological fields had the greatest impact on the silhouette of women, accessories, fashion details, materials, colors and methods of implementation.

Surviving historical garments and images which record what people have worn in the past provide an invaluable research resource for many fashion designers. Broad awareness of fashion history enables some designers to permeate their collections with real meaning. The dialogues these designers create between past and present engender a new set of narratives. Narratives which will, in due course, return to the archives to be re-used by the designers of the future. [12]

The present study tried to present a useful and trusted specialist website of 20th century fashion for fashion designers, and anyone interested in fashion history. When designing the website the researcher considered the following:

- The gathering of as much relevant information about 20th century fashion as possible.
- The rigorous collection and organization of information, and the verification of the authenticity and its sources.
- Information contains the breadth and depth needed and is written in a form that is usable.
- Information based on facts and doesn't reflect opinions or bias.
- The selection, organization, and analysis of the most pertinent collected evidence.
- Variety in issues that the website include.
- Explain relationships between historical factors that affect fashion and the fashion trends for each decade.
- Documenting the text with references.
- Pages designing reflects the purpose of the study.
- The designing of the pages is simple and provides the best task flow for the user.
- Providing the website with the researcher's email for clarification.

ACKNOWLEDGMENT

The author is in debt to ICT Integration Team Lead/ Ismail Zidan and Freelancer Webmaster/ Neveen Hassan, for their helping in building the website.

REFERENCES

- [1] Stone, E. (2013). The dynamics of fashion, 4th edition, Fairchild Books, New York.
- [2] Ewing, E. (2014). History of 20th century fashion. Pavilion Books.
- [3] Worsley, H. (2004). Decades of fashion. Könemann.
- [4] Steele, V. (2017). Paris fashion: a cultural history. Bloomsbury Publishing.
- [5] Seeling, C. (2012). Fashion, 150 Years: Couturiers, Designers, Labels. hf ullmann.
- [6] Martin, R. H., & Koda, H. (1995). Haute couture, Metropolitan Museum of Art.
- [7] Kellogg, A.T.; Peterson, A.T.; Bay S.; Swindell; N. (2002). In an Influential Fashion: An Encyclopedia of Nineteenth- and Twentieth-Century Fashion Designers and Retailers Who Transformed Dress, Greenwood Press.
- [8] Arnold, R. (2001). Fashion, desire and anxiety: image and morality in the twentieth century. IB Tauris.
- [9] Peacock, J. (1993): 20th-century fashion: the complete sourcebook. Thames & Hudson.
- [10] Walford, J. (2013). Sixties Fashion: From 'less is More' to Youthquake, Thames & Hudson.
- [11] Kass, A. (2011). The 20th Century of American Fashion: 1900–2000. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for a Degree in Writing, Professor Anne Witkavitch WRT, 465.
- [12] Murphy, D. (2011). Dialogues between past and present: historic garments as source material for contemporary fashion design. V&A Online Journal, 3.

Caractérisation granulométrique de dépôts sableux des rivières de la région de Kinshasa

Jean-René B. KABAMBA¹, Charles K. MPIANA^{1,2}, Valentin N. KANDA^{2,4}, and Anselme B. MAVAMBOU³

¹Laboratoire de Sédimentologie et Géologie des terrains superficiels, Département des Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

²Professeur à la Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

³Faculté de Pétrole & Gaz, Université de Kinshasa, RD Congo

⁴Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), 44 Av. de la Démocratie, Kinshasa, Gombe, RD Congo

Copyright © 2018 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 Kinshasa region, drained by an important hydrographic network, contains stream beds made of sandpits for the supply of sand as building materials. This study has consisted of a granulometric characterization of these sandy materials. A single source of sediment is at the origin of these sandy deposits with medium sand as characteristic facies. With a moderately strong regular flow, a mesokurtic distribution of frequency curves, an asymmetry towards fine grains and a good to fairly good grading of grains, the sandy deposits of stream beds of Kinshasa have a fluvial character. The positive correlation observed between medium grain and the grading index certifies the gradual refinement and good ranking of grains observed in these sandy deposits. The dominant pink color of the sandy deposits of Kinshasa rivers indicates that these deposits are devoid of organic matter.

KEYWORDS: granulometry, sand, stream, Kinshasa.

RESUME: La région de Kinshasa drainée par un important réseau hydrographique, comporte des lits des rivières constitués en sablières pour l'approvisionnement en sables comme matériaux de construction. Cette étude a consisté en une caractérisation sur le plan granulométrique de ces matériaux sableux. Une seule source des sédiments est à l'origine de ces dépôts sableux avec un sable moyen comme faciès caractéristique. Avec un courant régulier modérément fort, une distribution mésokurtique de courbes de fréquence, une asymétrie vers les grains fins et un classement bon à assez bon des grains, les dépôts sableux de lits des rivières de Kinshasa accusent un caractère fluvial. La corrélation positive observée entre le grain moyen et l'indice de classement certifie l'affinement progressif et le bon classement des grains observés dans ces dépôts sableux. La couleur rose dominante des dépôts sableux de rivières de Kinshasa indique que ces dépôts sont dépourvus de matières organiques.

MOTS-CLEFS: granulométrie, sable, rivière, Kinshasa.

1 INTRODUCTION

Les caractéristiques des sols de la Ville-Province de Kinshasa sont fonction de la structure géomorphologique de l'endroit où l'on se trouve. Ainsi, elles sont différentes selon qu'on est sur le massif du Plateau de Bateke, sur les collines, dans les plaines ou dans les marécages. De manière générale, ces sols sont essentiellement sablonneux avec quelques éléments particuliers (Van Caillie, 1987).

La zone concernée par cette étude est la région de Kinshasa qui s'étend sur 9,965 Km², soit 0,42% de la superficie de la République Démocratique du Congo (Fig. 1). La région de Kinshasa est située à l'Ouest du pays entre 3,9 et 5,1 degrés de latitude Sud et entre 15,1 et 16,6 degrés de longitude Est (De Saint Moulin et Kalombo, 2005).

Cette zone est drainée par un important réseau hydrographique constitué par :

- le fleuve Congo qui s'étend sur plus de 20km de large au niveau du Pool Malebo, avant les rapides de Kinsuka à l'Ouest de la ville ;
- plusieurs rivières de vallées envasées, allogènes (N'djili, N'sele) ou non (Tshangu) et celles de vallées encaissées dites rivières locales (Lubudi, Funa, Bumbu, etc.). Ces rivières sont de gabarits différents mais de direction généralement Sud-Nord (Lelo, 2008 ; Ndembo, 2009 ; Kasongo et Yumba, 2009).

Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo n'est pas une ville à vocation minière mais elle regorge en son sein des matériaux de construction susceptibles de contribuer à son développement durable. Parmi ces matériaux nous retrouvons des roches (grès) et des minéraux industriels (sables et argiles) indispensables dans la construction, l'industrie du verre, la céramique, etc.

Les matériaux sableux de la Région de Kinshasa qui font l'objet de cette étude ont été prélevés dans les sablières dont la plupart se trouvent localisées dans les lits des rivières.

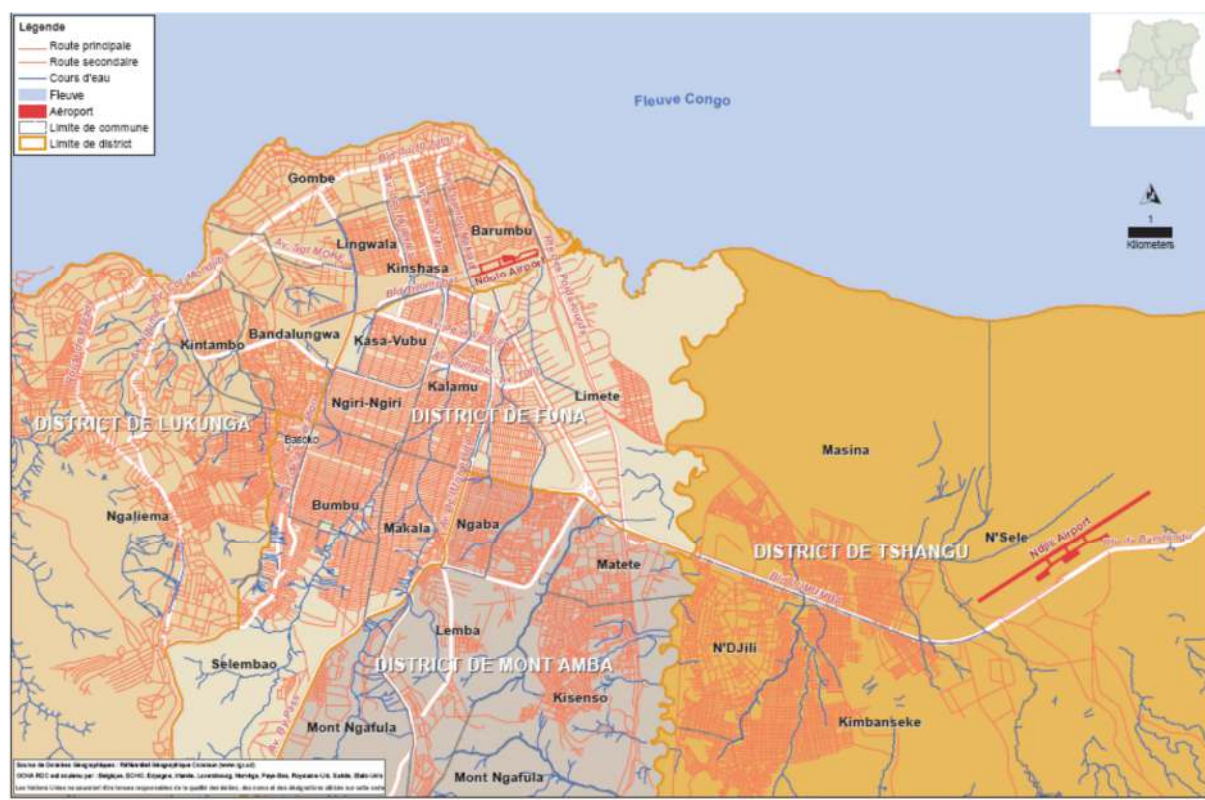


Fig. 1. Carte de la ville de Kinshasa

2 MATERIELS, METHODES ET MATERIAUX

2.1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour l'effectivité de cette recherche, nous avons défini les étapes ci-après :

- la collecte des données bibliographiques auprès des Services et Institutions locales ou étrangères [Centre des Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Musée Royal de l'Afrique Centrale (MRAC), Université de Liège (ULG)];
- la campagne de terrain : observations macroscopiques, observations géoenvironnementales et échantillonnage ;

- les analyses en laboratoire : analyse granulométrique avec le logiciel « Easy Sieve » et la détermination de la teinte de sédiments sableux par le « Munsell Soil Color Charts » ;
- le traitement des données avec les logiciels : Gradistat, Sine qua non, Excel et Word ;
- l'interprétation des résultats.

L'infrastructure technique utilisée est le laboratoire de sédimentologie et géologie de terrains superficiels (Département des Géosciences/Université de Kinshasa).

Les principaux matériels et documents utilisés pour l'exécution des travaux de terrain et de laboratoire sont notamment :

- un GPS de marque Garmin « GPS MAP 62s » ;
- des pelles manuelles;
- une boussole et un marteau de géologue ;
- un tube PVC de 6 cm de diamètre ;
- un appareil photo numérique ;
- des sachets en plastique ;
- un double décimètre ;
- des réactifs dont l'acide chlorhydrique (HCl) dilué à 10% ;
- une carte géologique et une carte topographique de Kinshasa;
- une loupe monoculaire;
- une colonne de tamis et une tamiseuse « RETSCH AS 200 » couplée à l'ordinateur ;
- une étuve « MEMMERT » ;
- une centrifugeuse « EPPENDORF CENTRIFUGE 5810 » ;
- une ultrasonic cleaning « BRANSON 3510 »;
- une balance « OHAUS PIONEER™ & OHAUS RANGER™ »;
- une plaque chauffante « stuart digital hot plate SD 300 »;
- quelques réactifs chimiques et autres accessoires.

Deux techniques ont été mises en œuvre, à savoir le tamisage et la sédimentométrie. L'une ou l'autre de ces techniques est précédée d'une étape importante qui est la préparation de l'échantillon. Celle-ci a été réalisée suivant le protocole décrit ci-dessous :

- Peser 20-70gr de l'échantillon à analyser sur une balance ;
- Verser 200ml de HCl (1,5 N) dans le bécher contenant l'échantillon pour éliminer les carbonates qui peuvent s'y trouver et attendre jusqu'à ce que la solution se décante et devienne claire (24 heures maximum) puis renverser le liquide surnageant en prenant le soin de ne perdre aucun grain;
- Ajouter 10ml de H₂O₂ (30%) pour éliminer la matière organique, couvrir le bécher puis chauffer la solution à 60°C pendant 1heure ;
- Porter à ébullition jusqu'à l'échappement complet du H₂O₂ ;
- Après échappement du H₂O₂, diluer avec de l'eau déminéralisée et attendre jusqu'à ce que la solution se décante et devienne claire (24 heures maximum) puis renverser le liquide surnageant ;
- Ajouter 2 à 3 cuillerées ou 150ml d'acide oxalique (5%) + 1 barre d'aluminium pour réduire le Fer s'il y en a et porter le tout à ébullition pendant 20 minutes ;
- Placer la solution dans la centrifugeuse en veillant à ce que les flacons placés face à face aient un même poids (centrifuger au moins 2 fois);
- Renverser le liquide surnageant et récupérer le dépôt, le laver et le placer à nouveau dans un bécher ;
- Sécher au four à 60°C et peser l'échantillon pour avoir le G₀ (poids initial). Si l'on sèche à plus de 60°C, il sera difficile voire impossible de disperser les argiles par la suite ;
- Ajouter 20ml de peptisant pour disperser les minéraux argileux, et diluer jusqu'à 100ml puis porter à ébullition pendant une heure et placer la solution dans un « ultrasonic cleaning » pour disperser davantage les minéraux argileux qui peuvent encore être collés (pendant au moins 2 minutes);
- Tamiser la solution avec un tamis de 32µm. Les grains retenus sont lavés puis placés à nouveau dans l'« ultrasonic cleaning » pour éliminer les minéraux argileux qui peuvent encore être présents. La solution doit devenir claire, preuve qu'il n'y a plus d'argiles (si possible faire plusieurs fois jusqu'à ce que la solution devienne claire);
- Recueillir les grains retenus et les placer dans un bécher préalablement pesé et séché au four. On obtient ainsi le poids des grains >32µm, qui serviront à l'analyse par tamisage ;
- Placer la solution restante (contenant des grains<32µm) dans une colonne et la diluer jusqu'à 1000ml. Elle sera utilisée dans l'analyse par sédimentation. La solution doit rester en suspension stable pendant au moins 3 heures.

L'analyse par tamisage s'effectue à l'aide d'une tamiseuse couplée à un ordinateur qui traite automatiquement les données grâce au logiciel « Easy Sieve ».

L'analyse par sédimentation se fait en phase humide, il s'agit donc d'une décantation basée sur la pesanteur (Loi de Stokes).

2.2 MATÉRIAUX

Sur le terrain, les matériaux sableux étudiés ont été prélevés dans différents lits des rivières (Fig. 2 et Tab.1) et une étude macroscopique sommaire ainsi qu'une détermination des teintes selon le code utilisé dans le « Munsell Soil Color Charts » ont été réalisées. Les teintes furent déterminées à l'état frais et à l'état sec après 72 heures de séchage à l'air libre.

Les échantillons étudiés ont été prélevés dans les sites suivants : rivière Makelele, rivière Funa, Kinsuka, rivière N'djili et rivière N'sele.

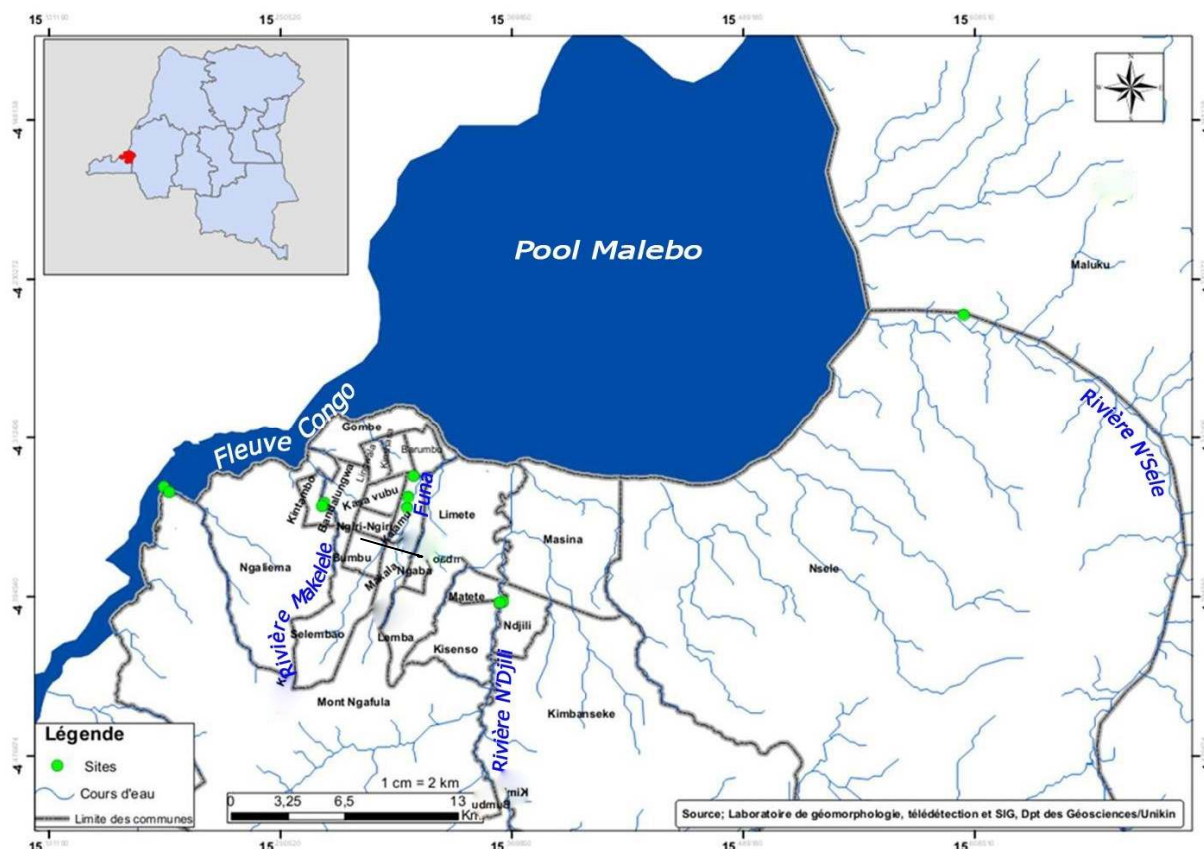


Fig. 2. Les principaux cours d'eau de la ville de Kinshasa et sites d'échantillonnage

SITE DE LA RIVIÈRE MAKELELE

Sous le pont Lunda Bululu, le prélèvement des échantillons s'est fait par décapage du lit de la rivière à l'aide d'une pelle. La profondeur de l'eau et celle de l'échantillonnage sont jaugées à l'aide d'un tube PVC gradué. La profondeur de l'eau est de ± 30 cm et celle de l'échantillonnage de ± 50 cm (Fig. 3).

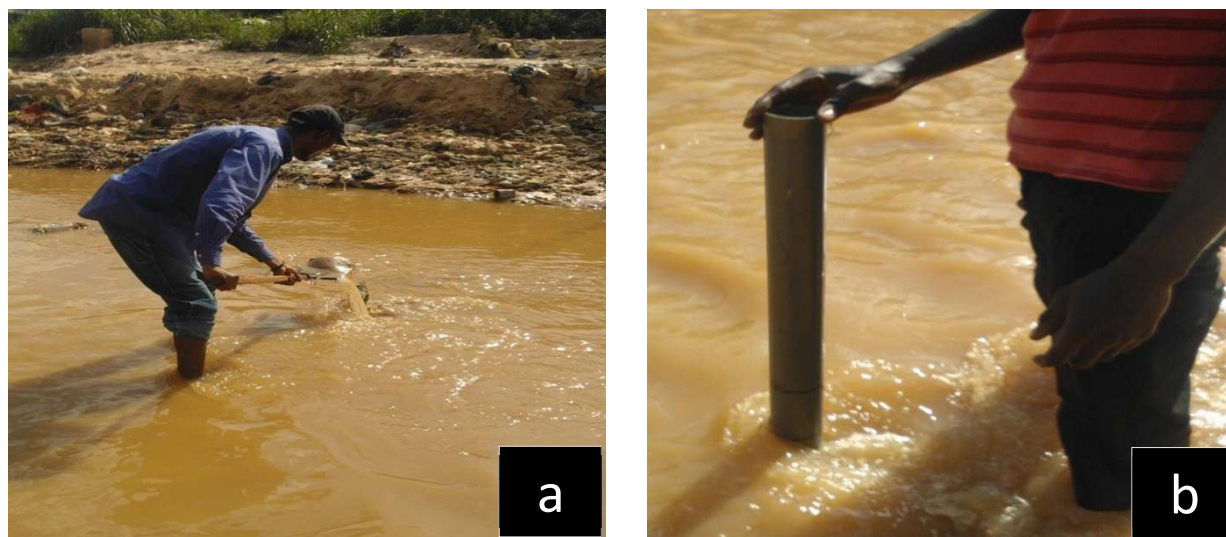


Fig. 3. La rivière Makelele : (a)prélèvement de l'échantillon MK02 et (b) jaugeage de la profondeur de l'eau

SITE DE LA RIVIÈRE FUNA

La récolte des échantillons s'est faite par décapage du lit de la rivière à l'aide d'une pelle. Le prélèvement s'est effectué tout au long de la rivière entre les avenues Bongolo et Bokasa (Fig. 4). L'échantillon MB01 est prélevé à 15m en amont de l'avenue Bongolo à ± 41 cm de profondeur, et MB04 à 10m en amont de l'avenue Bokasa à ± 55 cm de profondeur.



Fig. 4. La rivière Funa : (a)dépôt des sables sur les berges de la rivière Funa et (b) jonction de la rivière Funa et l'avenue Bokasa

SITE KINSUKA

Le site d'échantillonnage est le lit majeur du fleuve Congo avec un point sur l'île Kiyudi à Kinsuka. L'échantillonnage a consisté au prélèvement des sables transportés par le fleuve Congo et déposés sur les berges. Le site fait l'objet d'une exploitation artisanale de sables. L'échantillon KINS01 est prélevé dans le lit majeur du fleuve (Fig. 5a) et KINS03 sur l'île Kiyudi (Fig. 5b).



Fig. 5. Points d'échantillonnage du site Kinsuka (a : lieu de prélèvement de l'échantillon KINS01 ; b : lieu de prélèvement de l'échantillon KINS03)

SITE DE LA RIVIÈRE N'DJILI

Le prélèvement des échantillons s'est opéré par décapage du fond du lit de la rivière à l'aide d'un seau (Fig. 6). La profondeur de l'eau et celle de l'échantillonnage sont jaugées à l'aide d'un tube PVC gradué. Les exploitants artisanaux plongent au fond de la rivière et utilisent un seau pour racler le fond du lit. Les échantillons ND01 et ND02 ont été prélevés aux profondeurs respectives de 1,6 m et 1,8 m.



Fig. 6. La rivière N'djili : (a) en route vers le lieu d'échantillonnage et (b) entreposage des échantillons dans la pirogue après échantillonnage

SITE DE LA RIVIÈRE N'SELE

A 200 m en amont du pont sur la Nationale n°1 (Kinshasa-Bandundu), le prélèvement des échantillons s'est fait par décapage du fond du lit de la rivière à l'aide d'un seau. Les exploitants artisanaux plongent au fond de la rivière et utilisent un seau pour racler le fond du lit afin de puiser les sables qu'ils ramènent à la surface. L'échantillon NSE01a été pris à 0,8 m de profondeur (Fig. 7).



Fig. 7. La rivière N'sele : (a) prélèvement des sables et (b) lieu d'entreposage des sables après prélèvement

Tableau 1. Sites d'échantillonnage

Sites	Code échantillons	Teinte (Code Munsell) à l'état respectivement frais et sec	Coordonnées Géographiques
RIVIERE MAKELELE	MK01	marron vif (7.5YR 5/8) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 16' 22,564" Lat. : S 4° 20' 15,873" Alt. : 277 m
	MK02	Jaune rougeâtre (7.5YR 6/6) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 16' 17,003" Lat. : S 4° 20' 21,434" Alt. : 277 m
	MK03	marron clair (7.5YR 6/4) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 16' 15,149" Lat. : S 4° 20' 26,994" Alt. : 278 m
	MK04	Jaune rougeâtre (7.5YR 6/6) - rose (7.5YR 7/4)	Long. : E 15° 16' 15,149" Lat. : S 4° 20' 32,555" Alt. : 278 m
	MK05	marron vif (7.5YR 5/6) - rose (7.5YR 7/4)	Long. : E 15° 16' 17,003" Lat. : S 4° 20' 39,969" Alt. : 278 m
RIVIERE FUNA/BONGOLO	MB02	marron jaunâtre clair (10YR 6/4) - marron pâle (10YR 6/3)	Long. : E 15° 19' 0,115" Lat. : S 4° 20' 36,262" Alt. : 290 m
	MB03	marron pâle (10YR 6/3) - gris marron clair (10YR 6/2)	Long. : E 15° 19' 13,09" Lat. : S 4° 20' 26,994" Alt. : 289 m
	MB04	marron pâle (10YR 6/3) - gris clair (10YR 7/2)	Long. : E 15° 19' 20,504" Lat. : S 4° 20' 2,898" Alt. : 289 m
CARRIERE KINSUKA	KINS01	marron clair (7.5YR 6/4) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 12' 6,774" Lat. : S 4° 20' 32,555" Alt. : 257 m
	KINS02	marron clair (7.5YR 6/4) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 11' 59,36" Lat. : S 4° 20' 28,848" Alt. : 257 m
	KINS03	rose (7.5YR 8/3) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 12' 12,335" Lat. : S 4° 19' 55,484" Alt. : 258 m
RIVIERE N'DJILI	ND01	rose (7.5YR 8/3) - rose (7.5YR 7/3)	Long. : E 15° 21' 52,495" Lat. : S 4° 23' 37,909" Alt. : 283 m

	ND02	rose (7.5YR 7/4) - rose (7.5YR 7/4)	Long. : E 15° 21' 50,641" Lat. : S 4° 23' 28,642" Alt. : 283 m
RIVIERE N'SELE	NSE01	rose (7.5YR 8/3) - blanc rosâtre (7.5YR 8/2)	Long. : E 15° 33' 33,135" Lat. : S 4° 15' 4,477" Alt. : 283 m

3 RESULTATS

3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats présentés ici se rapportent aux échantillons KINS01, MB01, MK01, ND01 et NSE01 (Fig. 8, 9, 10, 11 et 12 & Tab. 4, 5, 6, 7 et 8) qui ont été choisis en raison de la représentativité de chacun par rapport à son site.

Les coordonnées en abscisse des histogrammes de fréquence pour le tamisage et la sédimentométrie sont données en nombres représentant respectivement les ouvertures des tamis (Tab. 2) et les tailles de particules en rapport avec le niveau de prélèvement sur la colonne sédimentométrique (Tab.3).

Tableau 2. Les coordonnées en abscisse des histogrammes de fréquence pour le tamisage

N° Tamis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ouverture maille (µm)	2000	1000	710	500	355	250	180	125	90	63	45	32

Tableau 3. Les coordonnées en abscisse des histogrammes de fréquence pour la sédimentométrie

N° Tamis	1	2	3	4	5	6
Ouverture maille (µm)	32	25	20	10	5	2

ECHANTILLON KINS01 (FIG. 8 ET TAB. 4) :

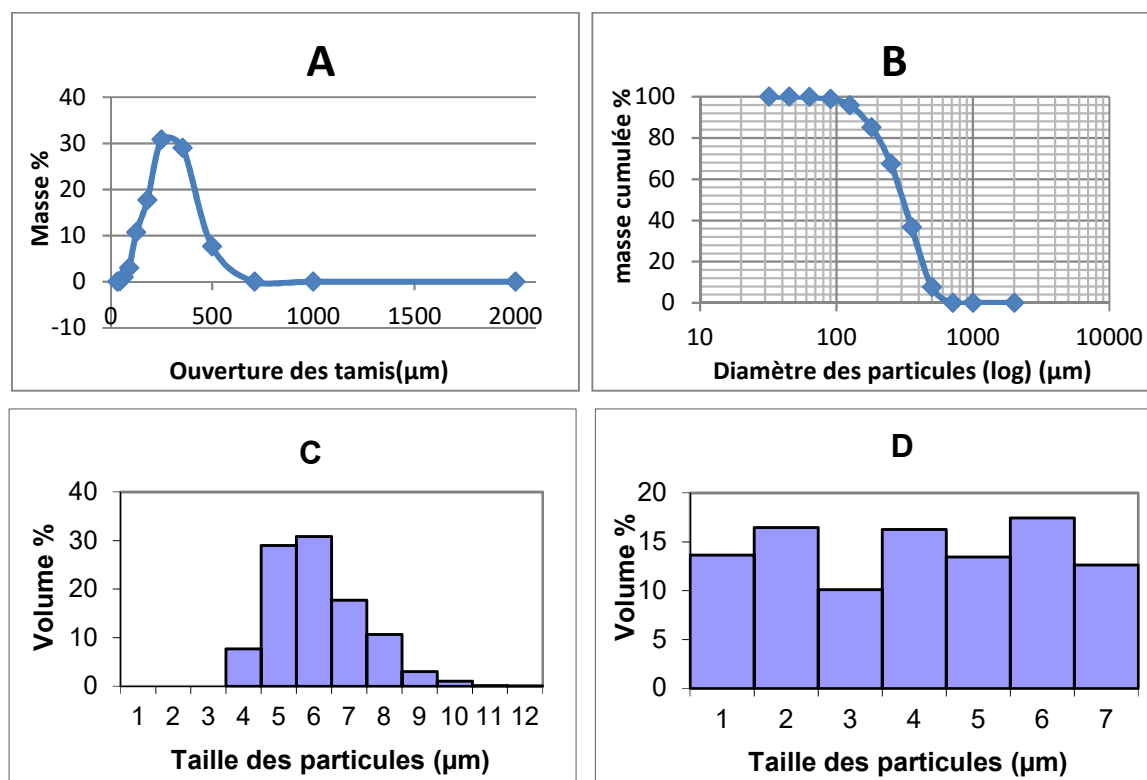


Fig. 8. Courbe des fréquences (A), courbe des fréquences cumulées (B) et histogramme de l'analyse par tamisage (C); histogramme de l'analyse par sédimentométrie (D) de l'échantillon KINS01

Tableau 4. Paramètres granulométriques de l'échantillon KINS01 (a : paramètres généraux et b : paramètres calculés par les méthodes des Moments et de Folk & Ward)

Paramètres (a)	μm	ϕ
Mode :	302,5	1,747
D ₁₀ :	152,7	1,040
Médiane ou D ₅₀ :	305,0	1,713
D ₉₀ :	486,3	2,712
(D ₉₀ / D ₁₀):	3,186	2,607
(D ₉₀ - D ₁₀):	333,7	1,672
(D ₇₅ / D ₂₅):	1,874	1,699
(D ₇₅ - D ₂₅):	190,0	0,906

Paramètres (b)	METHODE DES MOMENTS			METHODE DE FOLK & WARD	
	Arithmétique (μm)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)
Moyenne ($\bar{x}$)	321,9	290,0	1,786	294,0	1,766
Classement (σ)	129,0	1,558	0,640	1,567	0,648
Asymétrie (Sk)	0,404	-0,622	0,622	-0,144	0,144
Angulosité (K)	2,688	3,206	3,206	0,965	0,965

ECHANTILLON MB01 (FIG. 9 ET TAB. 5) :

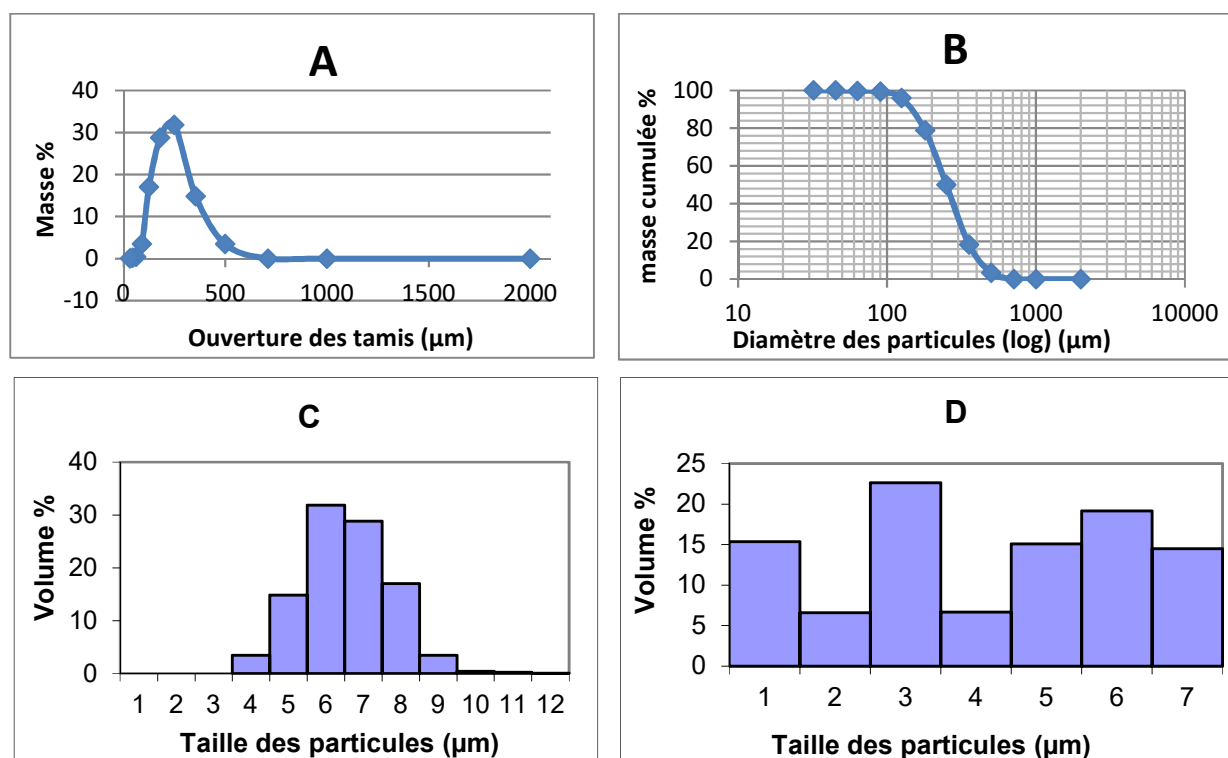


Fig. 9. Courbe des fréquences (A), courbe des fréquences cumulées (B) et histogramme de l'analyse par tamisage (C) ; histogramme de l'analyse par sédimentométrie (D) de l'échantillon MB01

Tableau 5. Paramètres granulométriques de l'échantillon MB01 (a : paramètres généraux et b : paramètres calculés par les méthodes des Moments et de Folk & Ward)

Paramètres (a)	μm	ϕ
Mode :	302,5	1,747
D ₁₀ :	141,9	1,219
Médiane ou D ₅₀ :	250,2	1,999
D ₉₀ :	429,7	2,817
(D ₉₀ / D ₁₀):	3,028	2,312
(D ₉₀ - D ₁₀):	287,8	1,598
(D ₇₅ / D ₂₅):	1,752	1,505
(D ₇₅ - D ₂₅):	141,4	0,809

Paramètres (b)	METHODE DES MOMENTS			METHODE DE FOLK & WARD	
	Arithmétique (μm)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)
Moyenne ($\bar{x}$)	272,5	247,7	2,013	247,1	2,017
Classement (σ)	110,7	1,501	0,586	1,510	0,594
Asymétrie (Sk)	0,935	-0,173	0,173	-0,029	0,029
Angulosité (K)	3,874	3,060	3,060	0,973	0,973

ECHANTILLON MK01 (FIG. 10 ET TAB. 6) :

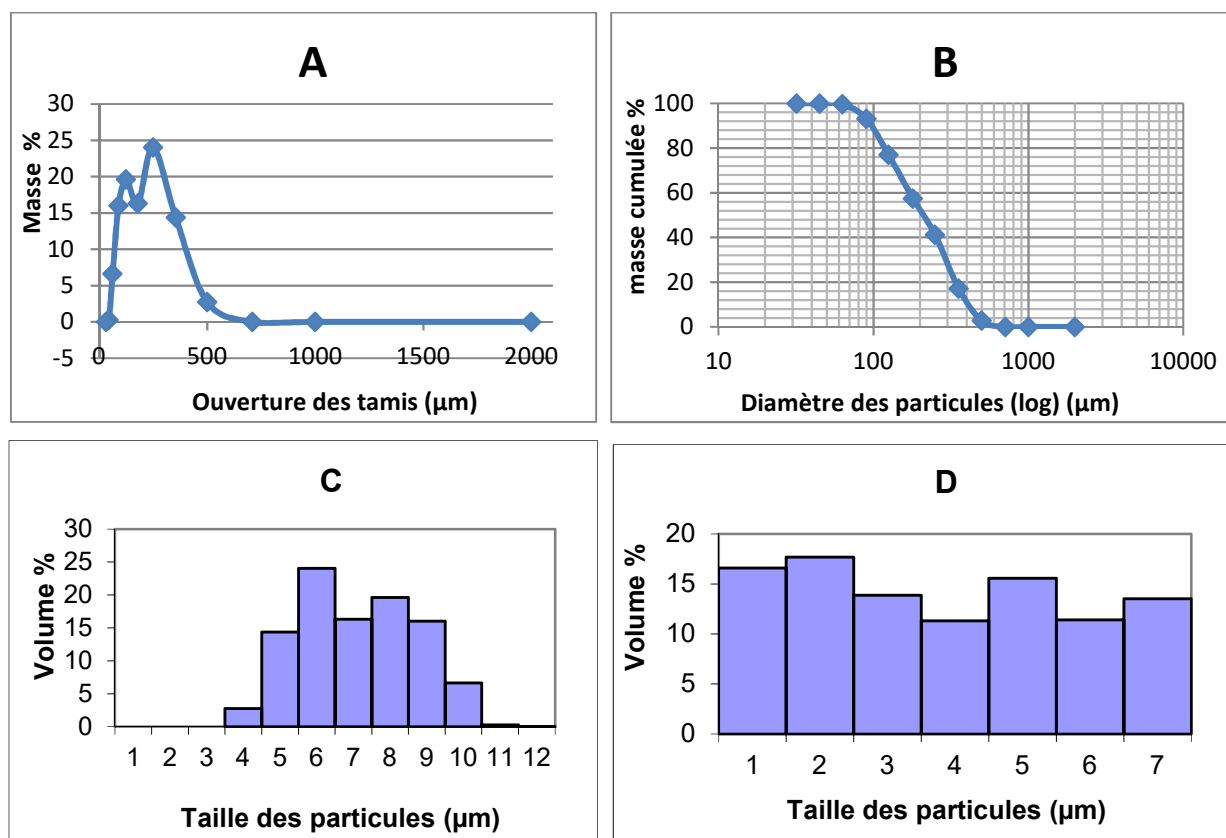
**Fig. 10.** Courbe des fréquences (A), courbe des fréquences cumulées (B) et histogramme de l'analyse par tamisage (C) ; histogramme de l'analyse par sédimentométrie (D) de l'échantillon MK01

Tableau 6. Paramètres granulométriques de l'échantillon MK01 (a : paramètres généraux et b : paramètres calculés par les méthodes des Moments et de Folk & Ward)

Paramètres (a)	μm	ϕ
Mode 1:	302,5	1,747
Mode 2:	152,5	2,737
D ₁₀ :	95,83	1,249
Médiane ou D ₅₀ :	209,1	2,258
D ₉₀ :	420,7	3,383
(D ₉₀ / D ₁₀):	4,390	2,709
(D ₉₀ - D ₁₀):	324,9	2,134
(D ₇₅ / D ₂₅):	2,437	1,774
(D ₇₅ - D ₂₅):	186,6	1,285

Paramètres (b)	METHODE DES MOMENTS			METHODE DE FOLK & WARD	
	Arithmétique (μm)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)
Moyenne ($\bar{x}$)	238,1	203,1	2,300	202,2	2,306
Classement (σ)	126,3	1,730	0,791	1,770	0,824
Asymétrie (Sk)	0,803	-0,113	0,113	-0,078	0,078
Angulosité (K)	3,122	2,087	2,087	0,812	0,812

ECHANTILLON ND01 (FIG. 11 ET TAB. 7) :

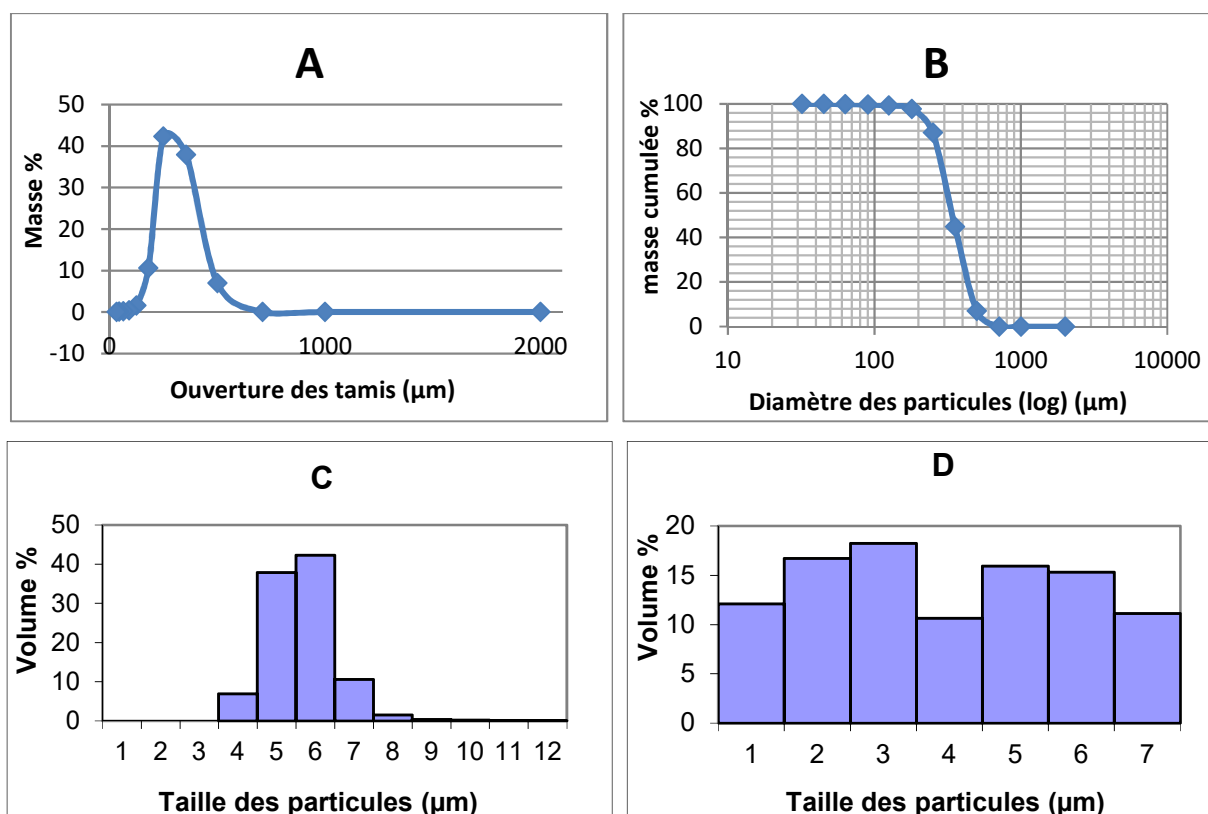


Fig. 11. Courbe des fréquences (A), courbe des fréquences cumulées (B) et histogramme de l'analyse par tamisage (C); histogramme de l'analyse par sédimentométrie (D) de l'échantillon ND01

Tableau 7. Paramètres granulométriques de l'échantillon ND01 (a : paramètres généraux et b : paramètres calculés par les méthodes des Moments et de Folk & Ward)

Paramètres (a)	μm	ϕ
Mode :	302,5	1,747
D ₁₀ :	228,7	1,040
Médiane ou D ₅₀ :	340,1	1,556
D ₉₀ :	486,4	2,128
(D ₉₀ / D ₁₀):	2,127	2,047
(D ₉₀ - D ₁₀):	257,7	1,089
(D ₇₅ / D ₂₅):	1,536	1,502
(D ₇₅ - D ₂₅):	148,3	0,620

Paramètres (b)	METHODE DES MOMENTS			METHODE DE FOLK & WARD	
	Arithmétique (μm)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)
Moyenne ($\bar{x}$)	357,8	337,2	1,568	342,6	1,546
Classement (σ)	103,5	1,360	0,444	1,354	0,437
Asymétrie (Sk)	0,476	-0,804	0,804	-0,014	0,014
Angulosité (K)	3,331	5,876	5,876	0,988	0,988

ECHANTILLON NSE01 (FIG. 12 ET TAB. 8) :

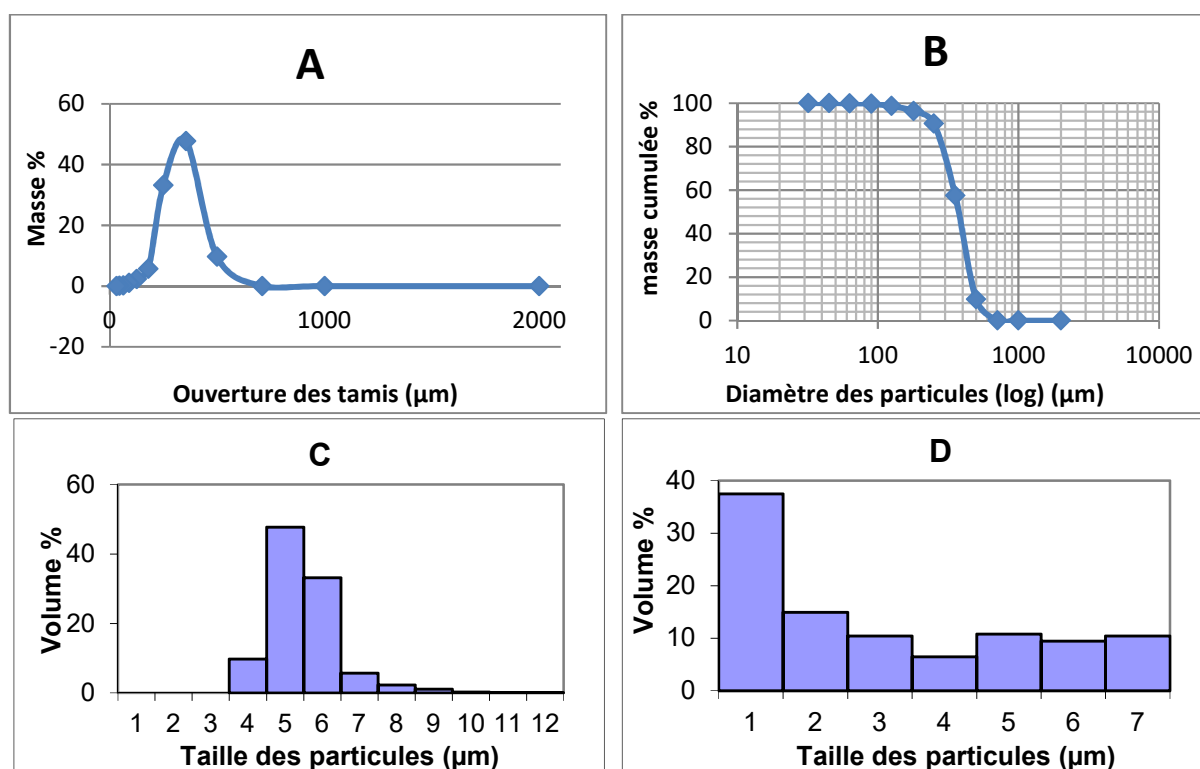


Fig. 12. Courbe des fréquences (A), courbe des fréquences cumulées (B) et histogramme de l'analyse par tamisage (C) ; histogramme de l'analyse par sédimentométrie (D) de l'échantillon NSE01

Tableau 8. Paramètres granulométriques de l'échantillon NSE01 (a : paramètres généraux et b : paramètres calculés par les méthodes des Moments et de Folk & Ward)

Paramètres (a)	μm	ϕ
Mode :	427,5	1,247
D ₁₀ :	251,7	1,003
Médiane ou D ₅₀ :	374,5	1,417
D ₉₀ :	499,0	1,990
(D ₉₀ / D ₁₀):	1,983	1,985
(D ₉₀ - D ₁₀):	247,3	0,988
(D ₇₅ / D ₂₅):	1,519	1,521
(D ₇₅ - D ₂₅):	153,2	0,603

Paramètres (b)	METHODE DES MOMENTS			METHODE DE FOLK & WARD	
	Arithmétique (μm)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)	Géométrique (μm)	Logarithmique (ϕ)
Moyenne ($\bar{x}$)	380,4	357,5	1,484	363,4	1,460
Classement (σ)	108,7	1,385	0,470	1,368	0,452
Asymétrie (Sk)	0,124	-1,259	1,259	-0,166	0,166
Angulosité (K)	3,251	6,485	6,485	1,093	1,093

Pour ces dépôts sableux, les courbes de fréquences et les paramètres granulométriques ont révélé les caractéristiques suivantes :

- Les courbes de fréquence (KINS01, MB01, ND01 et NSE01) (Fig. 8, 9, 10, 11, 12) sont unimodales et (MK01) (Fig. 8) bimodale.
- Le grain moyen ($\bar{x}$): les sables moyens sont le faciès le plus représenté.
- L'indice de classement suggère un classement bon et assez bon de grains.
- Le coefficient d'asymétrie : les courbes de fréquence sont, dans l'ensemble, symétriques à asymétriques vers les grains fins.
- L'angulosité de courbes de fréquence révèle une distribution mésokurtique, ce qui revient à dire que l'extrémité et la partie centrale de la courbe de fréquence ont le même classement.

3.2 ANALYSE CORRÉLATIVE DE PARAMÈTRES GRANULOMÉTRIQUES

En vue de confirmer la tendance générale dégagée par les paramètres granulométriques essentiels, il nous a paru utile d'effectuer une analyse corrélative de ces paramètres.

L'analyse corrélative de paramètres granulométriques nous révèle ce qui suit (Fig. 13) :

- les corrélations de la moyenne ($\bar{x}$) et de l'indice de classement (σ) ($r = 0,627034$), de la médiane (Md) et de l'indice de classement (σ) ($r = 0,559278$) et, de la médiane (Md) et de la moyenne ($\bar{x}$) ($r = 0,994365$) sont positives (Fig. 13a, b et c) ;
- la corrélation de la moyenne ($\bar{x}$) et du coefficient d'asymétrie (Sk) ($r = -0,915534$) est négative (Fig. 13d) ;
- la corrélation du coefficient d'asymétrie (Sk) et de l'indice de classement (σ) ($r = -0,363896$) est insignifiante (Fig. 13e).

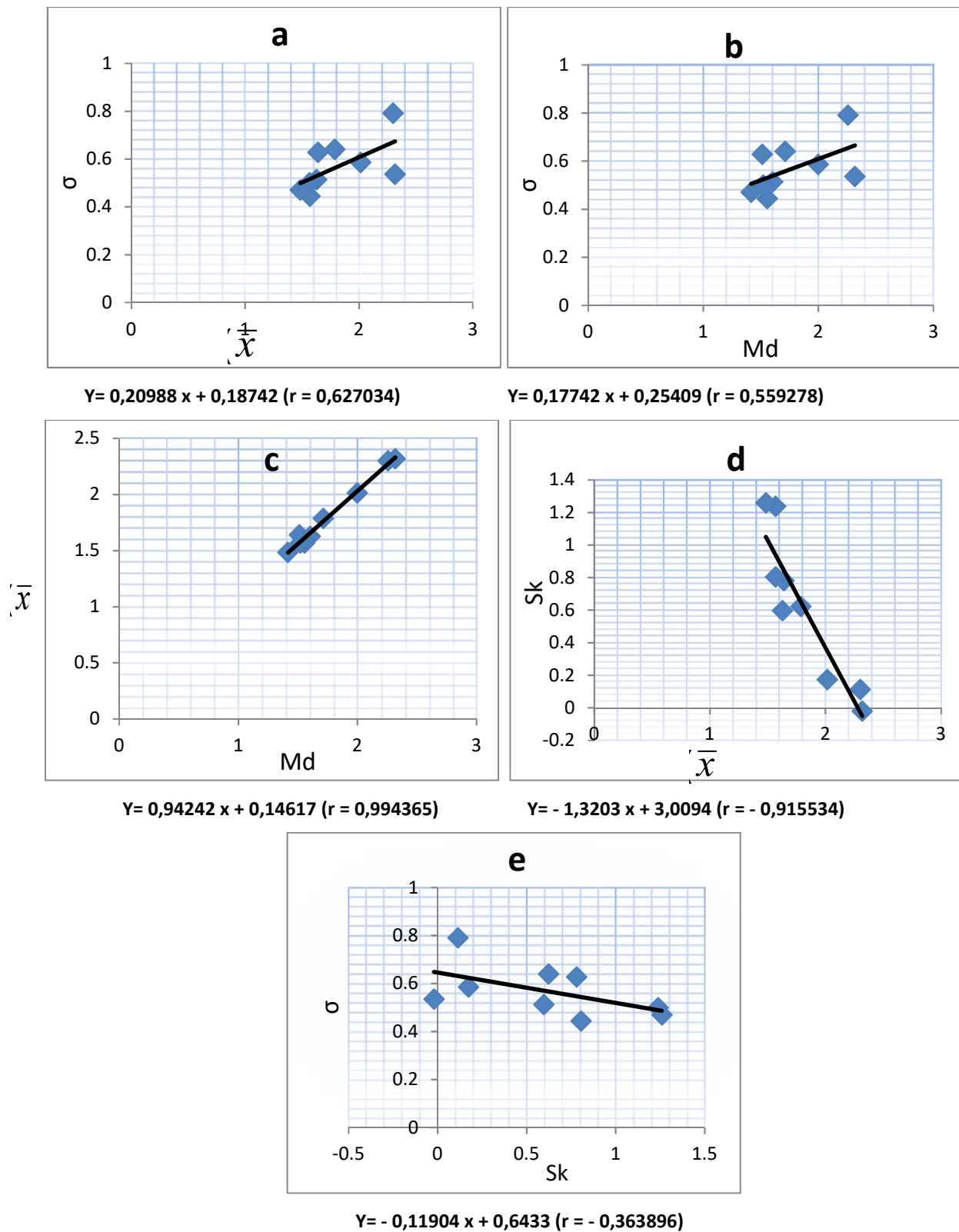


Fig. 13. Droites de corrélations (a : moyenne-indice de classement, b : médiane-indice de classement, c : médiane-moyenne, d : moyenne-coefficient d'asymétrie, e : coefficient d'asymétrie-indice de classement)

4 DISCUSSION

4.1 COLORATION DES DÉPÔTS SABLEUX DE KINSHASA

La couleur des roches sédimentaires peut avoir des origines diverses, complexes et être dans certains cas secondaires. Cependant, elle est souvent primaire et reflète des aspects importants de l'environnement de dépôts (conditions d'oxydo-réduction, taux de déposition de la matière organique, etc.) (Assale et al., 2012).

Le spectre de couleur gris-olive au noir est fonction de la teneur en matière organique total avec des couleurs plus foncées pour les teneurs plus élevées en carbone. La teneur en carbone organique est contrôlée par le taux d'accumulation de matière organique, le taux d'accumulation des sédiments, le taux de décomposition de la matière organique et le niveau d'oxygène. Les couleurs gris à noir sont associées à des fortes teneurs en carbone organique et des eaux de fonds dysaérobiques à anaérobiques (Devleeschouwer, 2009 ; Assale et al., 2012).

Sur base de la coloration à l'état sec, les dépôts sableux des lits des rivières de la région de Kinshasa se présentent comme suit : la couleur rose est dominante, donc ces dépôts sont dépourvus des matières organiques ; les colorations gris clair, marron pâle et gris marron clair relevées dans le lit de la rivière Bongolo indiquent la présence de la matière organique dans ces sédiments. Cette exception est due à sa proximité aux habitations, à sa petite taille et au fait qu'elle soit une décharge publique des riverains.

4.2 MOYENNE ET MÉDIANE

La moyenne et la médiane constituent les valeurs centrales d'une distribution statistique donnée (Kabamba, 2010). L'évolution spatiale de la taille de grains met en évidence un tri granulométrique. Ainsi, l'affinement du grain moyen ou du grain médian évoque un tri granulométrique dans la même direction et le même sens (Censier et Olivry, 1993 ; Saidi et al., 2004). Le grain moyen ou le grain médian renseigne également sur l'éloignement entre la source et le site de dépôt du sédiment, qui se traduit par une diminution de grain moyen ou grain médian avec la distance. De manière générale, le grain moyen exprime la force du courant à l'origine du transport des particules ; donc, on peut aussi dire que la diminution du grain médian marque un gradient énergétique décroissant dû à la diminution de la compétence de l'agent de transport (Moguedet, 1977 ; Losson et Corbonnois, 2006 ; Hichour et Essamoud, 2011 ; Boulvain, 2013).

Dans l'ensemble, les dépôts sableux de lits des rivières de Kinshasa et ses environs sont représentés par les sables moyens.

4.3 INDICE DE CLASSEMENT

La dispersion des valeurs de la distribution autour de la tendance centrale traduit le bon ou le mauvais classement des sédiments (Barusseau, 1984 ; Boulvain, 2013).

Un bon classement des sédiments suppose que le niveau énergétique de l'agent de transport est régulier ou constant au cours du transport des sédiments, donc un mauvais classement ferait penser à un niveau énergétique irrégulier et variable (Chamley, 2000 ; Losson et Corbonnois, 2006 ; Etche et al., 2010).

Les conditions de dépôt peuvent aussi influencer sur le classement des sédiments ; ainsi, dans un dépôt fluviatile, un dépôt de crue brusque infligerait un mauvais triage aux sédiments, et un dépôt de crue graduelle infligerait un bon triage.

Selon la loi de Sternberg (1875) in Censier (1996), les éléments transportés par un cours d'eau sont progressivement de plus en plus fins et tendent à être de mieux en mieux classés. Cette loi n'est respectée que s'il existe une seule zone-source de sédiments.

Dans les lits des rivières de la région de Kinshasa, les valeurs d'indice de classement dénotent de manière générale une régularité du courant, ceci est attesté par leurs courbes de fréquence unimodales et le bon classement de grains.

4.4 COEFFICIENT D'ASYMÉTRIE

Ce coefficient traduit le meilleur classement du côté de particules grossières (asymétrie négative) ou le meilleur classement du côté de particules fines (asymétrie positive) (Vatan, 1967).

L'asymétrie reflète davantage le milieu de dépôt que les conditions de transport. Ainsi, certains dépôts fluviaux présentent une forte asymétrie positive, déterminée par un enrichissement en particules fines décantées à la fin d'une crue (Tissières, 1990 ; Chamley, 2000 ; Losson et Corbonnois, 2006).

Pour Arnaud – Fassetta (1998) in Losson et Corbonnois (2006), le coefficient d'asymétrie traduit le fonctionnement du milieu de sédimentation et la dynamique de fin d'accumulation.

Un sédiment est rarement asymétrique au cours de son dépôt. C'est un remaniement le privant d'une taille donnée qui entraîne son asymétrie (Vatan, 1967).

Dans les lits des rivières de la région de Kinshasa, les sédiments sont symétriques à asymétriques vers les grains fins, ce qui indique qu'il s'agit des dépôts récents ayant connu un léger remaniement et confirme leur caractère fluvial.

4.5 ANGULOSITÉ

Ce coefficient évoque la relation entre le classement de la partie centrale de la courbe de fréquence et celui de ses extrémités. Un mélange en proportions égales, de deux populations, va engendrer une distribution platykurtique ; tandis qu'un mélange où prédomine l'une de deux populations va engendrer une distribution leptokurtique (Vatan, 1967 ; Chamley, 2000).

En parlant de mélange de populations, on sous-entend deux ou plusieurs pics sur la courbe de fréquence (Fall, 1986 ; Chamley, 2000). Donc, les courbes bimodales ont une distribution platykurtique ; tandis que les courbes unimodales ont une distribution mésokurtique ou leptokurtique. En général, le mélange des sédiments apporte un mauvais classement au dépôt (Censier et al., 1993). Les courbes plurimodales qui en découlent, témoignent d'une hétérogénéité et d'un mélange de stocks sédimentaires (Chennaoui, 2004). Aussi, les courbes bimodales ont des extrémités mieux classées que la partie centrale ; et les courbes unimodales ont la partie centrale mieux classée que les extrémités.

Dans les lits des rivières de la région de Kinshasa, les courbes ont dans l'ensemble une distribution mésokurtique, ce qui témoigne de l'existence d'un seul stock sédimentaire à l'origine de ces dépôts (courbe unimodale) et aussi d'un classement en général assez bon à bon.

4.6 CORRÉLATION ENTRE LES PARAMÈTRES GRANULOMÉTRIQUES

La tendance générale dégagée par les paramètres granulométriques est confirmée par leur corrélation de plus en plus positive. C'est le cas de la moyenne et de la médiane (Fig. 13b), mais c'est aussi le cas de la moyenne et de l'indice de classement (Fig. 13a), ce dernier n'étant que la confirmation de la loi de Sternberg (Censier, 1996) qui stipule que les éléments transportés par un cours d'eau sont progressivement de plus en plus fins et tendent à être de mieux en mieux classés. Cette loi n'est respectée que s'il existe une seule zone-source de sédiments bien entendu.

Cependant une corrélation négative entre la moyenne et le coefficient d'asymétrie (Fig. 13d) est expliquée par le fait qu'un sédiment est rarement asymétrique au cours de son dépôt, c'est un remaniement ultérieur le privant d'une taille donnée qui entraîne son asymétrie. Ce remaniement peut être occasionné par un courant divergeant. Ce fait est relevé dans certaines rivières de Kinshasa qui fournissent de courbes asymétriques vers les grains fins au lieu de rester symétriques, donc le milieu de dépôt est perturbé au lieu d'être calme.

5 CONCLUSION

Tout au long de cette étude, nous avons essayé de caractériser sur le plan granulométrique les matériaux sableux exploités dans les lits des rivières de la ville de Kinshasa et ses environs immédiats en vue de leur valorisation optimale.

Pour l'essentiel, il y a lieu de noter que les dépôts sableux de lits des rivières de Kinshasa dénotent dans l'ensemble l'existence d'une seule source des sédiments à l'origine de ces dépôts et que le faciès caractéristique est représenté par le sable moyen.

Ces dépôts, de toute évidence récents, ont été mis en place par un courant régulier modérément fort et qui confère à ces dépôts le caractère fluvial. Ce caractère fluvial est attesté par une distribution mésokurtique de courbes de fréquence, une asymétrie vers les grains fins et un classement bon à assez bon des grains.

L'affinement progressif et le bon classement des grains sont vérifiés par la corrélation positive observée entre le grain moyen et l'indice de classement.

Dans l'ensemble, les dépôts sableux de rivières de Kinshasa ont une couleur rose dominante, donc ces dépôts sont dépourvus de matières organiques, à l'exception de ceux qui traversent les habitations, comme la rivière Bongolo.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les autorités du Département des Géosciences (Faculté des Sciences/Université de Kinshasa) pour avoir accepté la mise en œuvre de cette étude par l'utilisation du laboratoire de Sédimentologie et Géologie des terrains superficiels.

REFERENCES

- [1] ASSALE P., MONDE S. et AKA K. (2012), Caractérisation lithostratigraphique et pétro-sédimentologique des formations tertiaire-quaternaires de la Région de Bingerville (Côte d'Ivoire), Afrique SCIENCE, Université de Cocody, UER Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géologie Marine et de Sédimentologie (GEOMARS), Abidjan, Côte d'Ivoire, pp.93-112.
- [2] BARUSSEAU J.P. (1984), Analyse sédimentologique des fonds marins de la « petite côte » (Sénégal), Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Dakar, Sénégal, pp.65-83.
- [3] BOULVAIN F. (2013), Une introduction aux processus sédimentaires (Pétrologie sédimentaire), Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique, 137 P., cours inédits/ (15/09/2013).
- [4] CENSIER C. (1996), Caractérisation de processus d'érosion régressive par analyse sédimentologique comparée des sables du chenal et des barres du cours inférieur de l'Oubangui (République Centrafricaine, Congo, Zaïre), IAHS Publ. N°238, ORSTOM, République Centrafricaine, pp.289-303.
- [5] CENSIER C. et OLIVRY J.C. (1993), Distribution de la granulométrie et de la minéralogie de la charge de fond sableuse du Bassin de l'Oubangui (République centrafricaine, République du Congo, Zaïre) : Implications sur l'origine et la dynamique sédimentaire des alluvions de l'Oubangui, CNRS-INSU-ORSTOM, Colloque Grands Bassins Fluviaux Péri atlantiques (Congo, Niger, Amazone), Paris, pp.159-169.
- [6] CENSIER C., POYAUD B., LARAQUE A. et MAZIE ZOULA B. (1993), Analyse sédimentologique de la charge de fond sableuse de la likouala aux Herbes (République du Congo) : mise en évidence d'une dérive occidentale du cours inférieur de la Sangha, CNRS-INSU-ORSTOM, Colloque Grands Bassins Fluviaux Péri atlantiques (Congo, Niger, Amazone), Paris, pp.45-48.
- [7] CHAMLEY H. (2000), Bases de sédimentologie, Sciences Sup, cours de 2^e cycle/ Master, Ed. Dunod, Paris, 178 P.
- [8] CHENNAOUI K. (2004), Reconstitution des paléoenvironnements et paléoclimats préhistoriques à travers l'étude sédimentologique, complétée par une approche pluridisciplinaire : Exemple des sites paléolithiques de Soyons (Ardèche, France) et des sites néolithiques du littoral atlantique marocain (région d'Essaouira et de Rabat), Thèse en Géologie du Quaternaire (Sédimentologie), Faculté des Sciences de Meknes, Université Moulay Ismail, 154 P.
- [9] DE SAINT MOULIN L. et KALOMBO T. (2005), Atlas de l'organisation administrative de la République Démocratique du Congo, Centre d'Etudes Pour l'Action Sociale (CEPAS), Kinshasa, 234 P.
- [10] DEVLEESCHOUWER X. (2009), Cours de Sédimentologie (GEOL-F-204), Université Libre de Bruxelles/Université d'Europe, Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement, Belgique, 73 P.
- [11] ETCHE A., MONDE S., YAO N. et AKA K. (2010), Analyse sédimentologique et diffractométrique des sédiments superficiels de la lagune Digboué de San Pedro (Côte d'Ivoire), European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X, Volume 44, N°4, pp. 527-540. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm> (consulté en février 2013).
- [12] FALL M. (1986), Environnements sédimentaires quaternaires et actuels des tourbières des Niayes de la grande Côte du Sénégal, Thèse en Sédimentologie, Faculté des Sciences, Université de Dakar, 136 P.
- [13] HICHOIR S. et ESSAMOUD R. (2011), Distribution des sédiments en milieu côtier de la région de Casablanca-Dar Bou Azza (Maroc), Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 2, Tanger, Maroc, pp.185-188/ <http://www.paralia.fr> (consulté en février 2013).
- [14] KABAMBA BALUDIKAY (2010), Les techniques d'analyses granulométriques, Rapport de stage, K.U. Leuven, Belgique, 29 P.
- [15] KASONGO L. et YUMBA K. (2009), Rapport d'étude sur l'agriculture périurbaine (maraichage) de Kinshasa, Action contre la faim (ACF Internationale), Kinshasa, RDC, 79 P.
- [16] LELO NZUNZI (2008), Kinshasa : Ville & Environnement, Edition L'Harmattan, Paris, 284P.
- [17] LOSSON B. et CORBONNOIS J. (2006), Les modes de sédimentation détritique (nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques), Geologica Belgica, Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz, Ile du Sauley, France, pp.257-265.
- [18] MOGUEDET G. (1977), Etude sédimentologique du plateau continental de la Guyane française, Revue des travaux de l'Institut de Pêches Maritimes, Laboratoire de Géologie Marine, Nantes, pp.389-402.
- [19] NDEMBO LONGO JEAN (2009), Apport des outils hydrogéochimiques et isotopiques à la gestion de l'aquifère du Mont Amba, Thèse, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, RDC, 203 P.

- [20] SAIDI H., BRAHIM M. et GUEDDARI M. (2004), Caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments de surface de la frange littorale Sidi Bou Saïd - la Goulette, Volume 31, Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la mer de Salambô, Tunisie, pp.97-106.
- [21] TISSIERES P. (1990), Etude sédimentologique et géotechnique des dépôts deltaïques de Grandes-près-Marnand, Thèse, Département de Génie civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 259 P.
- [22] VAN CAILLIE X. (1987), Notice de présentation de la carte géomorphologique et géotechnique de Kinshasa au 1/20000, Bureau d'Etudes d'Aménagements Urbains (BEAU), Kinshasa, RDC, 17 P.
- [23] VATAN A. (1967), Manuel de sédimentologie, Edition Technip, Paris, 373 P.

La Corne de l'Afrique: Au cœur des enjeux géostratégique et géopolitique de la Chine à l'ère de la mondialisation

Otshudi Shotsha Augustin, Utshudi Lotemo Paul, Kanyangala Kampela Trésor, and Dikomo Mudiaseke Louise

Université de Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims at demonstrating how and why the Horn of Africa is at the heart of geostrategic and geopolitical stakes of the Middle Kingdom: China at this time of globalization. As it is a gate of entering and exiting towards marine and terrestrial spaces, the Horn of Africa has an access to the Indian Ocean, the Red Sea and the Arabic Sea via Bab-el-Mandeb channel and the Aden Gulf Bay through the littoral of Djibouti which is a commercial crossing point between Asia, Europe and Africa, hence justifying its geopolitical importance.

The geopolitical and geostrategic stakes of China in the Horn of Africa would be motivated by three reasons. First, it gives access to the Pacific Asia via the Red Sea, the Arabic Sea and the Indian Ocean; second, the Horn of Africa gives access to Europe through the Mediterranean Sea via the Red Sea by passing through the Suez Channel; and third, it allows the access to these two continents via these crossing points towards Africa and vice versa. It also represents an opportunity for the expansion of this kingdom in the world. The defense and security of its vital interests out of its borders through its military base in Djibouti shows how this chessboard would be at the heart of geostrategic stakes of China.

This would help to understand the ambitions of Beijing to rival the USA, Japan for preventing them from taking over vital spaces and enlarging their dominion in the Afro-asiatic mass. The hypotheses which stipulates that the exit and entrance peripheries or ways are the dominion key at the global level for every State that masters them would give sense to this analysis.

KEYWORDS: Horn of Africa, Geopolitical and geostrategic stakes, Globalization, Bab-el-Mandeb channel and Aden Gulf Bay, Chessboard, expansion, vital space.

INTRODUCTION

La mondialisation apporte à l'heure actuelle une nouvelle appréhension de l'évolution du monde. De ce fait, ses atouts dont les fondements seraient justifiés par une mobilité issue de la libéralisation des échanges, des investissements et des flux de capitaux, par la contraction du temps et de l'espace démontreraient ce nouveau dynamisme. Les nouvelles technologies de l'information et de communication accentueraient l'opportunité de cette mondialisation d'un côté et de l'autre, l'apparition des rivalités autour des enjeux que procure l'espace et de jeux de conflictualités de haute ou de basse intensité opposants non seulement les Etats mais aussi d'autres acteurs, confirmeraient la réhabilitation de la géopolitique, pour reprendre l'expression de Pascal Boniface² et l'installation par les Etats des bases militaires, le déploiement des troupes armées dans les zones des conflits témoigneraient l'importance et le caractère irréversible de la géostratégie dans les nouvelles relations internationales. Ce jeu de conflictualités et de rivalité ayant pour finalité la quête et le contrôle des espaces vitaux pour la domination à l'échelle régionale et mondiale, contredirait l'hypothèse selon laquelle : « la fin pacifique de la guerre froide, à laquelle personne ne s'attendait, a corroboré l'espoir d'un apaisement progressif » et démenti la crainte d'une orgie de violence »³. Nous pensons que les conflits et les rivalités caractérisant la Russie et les Etats-Unis d'une part et entre ces derniers et la Chine dans la masse de l'Eurasie d'autre part avec comme corollaire la crainte de l'éclatement d'une guerre sanglante de grande ampleur mettraient fin à une telle réflexion.

En effet, l'histoire des relations internationales des Etats africains renseigne que la pénétration ou la présence chinoise dans le continent Africain en général et dans la Corne de l'Afrique en particulier n'est une nouveauté. Ses entreprises des travaux publics sont installées depuis au moins trente ans⁴. Ainsi, la présence chinoise en Afrique trouve ses origines les plus lointaines au XV^e siècle avec l'Amiral Zheng He. Celui-ci effectua, avec l'appui de l'Empereur Yongle, de nombreuses expéditions maritimes qui le conduisirent jusqu'en Afrique. Plus proche de notre temps, l'intérêt chinois pour le continent africain s'est de nouveau manifesté de manière palpable vers le milieu des années 50 où dans le contexte de la guerre froide et de la Conférence de Bandung (1955-1960), l'intervention chinoise s'est manifestée sous forme d'aide et d'assistance aux pays africains⁵.

A l'heure actuelle, l'espace africain semble devenir pour la Chine un marché où importer, vendre et exporter serait pour Pékin la règle. Un tel constat, rejoindrait la ligne tracée par les libéraux où le libéralisme commercial et économique reste le facteur accélérateur de la coopération et de la paix entre les Etats.⁶ L'occupation à grande échelle de l'échiquier africain par l'empire commerçant prend son ascension depuis les années 2000 avec la stratégie de partenariat gagnant-gagnant comme la clef de séduction et d'attraction de ses partenaires africains. Des lors, ceci justifierait la puissance douce de la Chine en Afrique. Si hier la théorie du soft power de Joseph Nye⁷ témoignait ou fait écho de la puissance douce américaine dans le monde, aujourd'hui en Afrique, l'Empire du milieu semblerait hériter les bien-fondés des variables structurales de cette théorie. En effet, deux grandes logiques sous-tendent la présence chinoise en Afrique. Il y a d'une part, la quête d'hydrocarbures, minerais et autres matières premières et d'autre part, la recherche d'un marché pour les produits chinois. La Chine a des besoins énormes en hydrocarbures (pétrole et gaz) pour soutenir sa croissance de 10% par an environ. Elle, qui jusqu'en 1993, était 2^e exportateur de pétrole en Asie, avec ses 2,3% des réserves mondiales, la Chine a pris le statut d'importateur. Passée de 8^e importateur de pétrole en 2000 avec 29% de consommation mondiale de pétrole, la Chine est à ce jour le 1^{er} importateur de pétrole. Jusqu'en 1990, les principaux fournisseurs de la Chine étaient l'Indonésie, Oman et l'Iran et en 2008, c'était l'Arabie saoudite, l'Angola et l'Iran.

Aujourd'hui, la Chine se tourne davantage vers l'Afrique pour sécuriser ses approvisionnements et diversifier ses sources. De plus, l'Afrique détient 9,5% des réserves mondiales de pétrole et 11,5% de la production mondiale. Son pétrole a en plus l'avantage d'être moins cher, de bonne qualité, plus facile d'accès et moins dangereux à produire⁸.

D'un autre côté, la Chine est constamment à la recherche de nouveaux débouchés pour soutenir sa croissance. Elle est un grand producteur des biens de consommation à bas prix mais aussi des produits de haute technologie (télécommunications,

² Pascale Boniface, *La géopolitique, les relations internationales*, éd. Eyrolles, 2011, p. 31.

³ Dario Battistella, *Paix et guerre au XXI^e siècle*, Paris, éd. Sciences humaines, 2012, p.7.

⁴ Philippe Richer, *L'offensive chinoise en Afrique*, Paris, éd. Karthala, 2008, p. 7.

⁵ Serge Mbenza, Les relations Chine-Afrique : quel futur ?, in *Revue Dounia*, N° 3, septembre 2010, p. 2.

⁶ Amélie Blom et Charillon F., *Théories et concepts des relations internationales*, Paris, éd. Hachette, 2001.

⁷ Florian Louis, *Les grands théoriciens de la géopolitique*, Paris, éd. Puf, 2014, p. 163.

⁸ Serge Mbenza, *Art. cit.*, p. 4.

centrales hydrauliques,...). Forte de ses 900 millions des consommateurs, l'Afrique constitue un marché potentiel mais aussi un test pour les producteurs avant d'affronter le marché international constitué d'une clientèle plus exigeante⁹. Ces besoins chinois en Afrique montreraient combien l'interdépendance entre les Nations devient de plus en plus bénéfique pour le développement, la prospérité et la puissance des Etats. Ceci corrobore l'hypothèse selon laquelle : si jadis, la puissance s'acquerrait par la force militaire et les conquêtes territoriales ; à l'ère contemporaine, le développement économique et l'expansion du commerce extérieur sont des moyens plus sûrs et moins coûteux qui conduisent à la prospérité et à cette puissance. Les libéraux défenseurs de cette approche de l'interdépendance argumentent qu'une plus grande division du travail au sein de l'économie internationale accroît l'interdépendance entre les Etats et réduit les risques des conflits armés.

Basculant et donnant une porte d'entrée et de sortie vers les espaces maritimes et terrestres, la Corne de l'Afrique revêt pour multiples acteurs un espace stratégique de grande envergure. Allant de la République du Kenya, de la Somalie, de l'Ethiopie jusqu'à l'Erythrée en passant par Djibouti, la Corne de l'Afrique possède une façade ou une ouverture vers l'Océan indien, la Mer rouge et la Mer d'Arabie si nous considérons les positions géographiques de la Somalie, de Djibouti, de l'Erythrée et du Soudan comme stratégique et incontournable. Observant la carte géographique du monde, l'importance stratégique de cet échiquier Est-Africain est accentuée par son avantage d'accès à la Mer méditerranée en passant par la Mer rouge ou par le port du Soudan, dont le Canal de Suez constituerait le point d'appui pour y arriver. Par ailleurs, le détroit de Bad-el-Mandeb, le long d'un itinéraire traversant la mer Rouge et le canal de Suez ainsi que la baie du golfe d'Aden fait du littoral de Djibouti un point de passage commercial entre l'Asie, la péninsule arabique et l'Afrique de l'Est, rendant de plus en plus la Corne de celle-ci célèbre sur le plan géopolitique. La Corne de l'Afrique constitue aussi par Djibouti le terminus du trafic ferroviaire en Ethiopie¹⁰.

Sans abandonner son ambition économique et commerciale, l'Empire du Milieu fait aujourd'hui de la Corne de l'Afrique sa priorité : justifié par ses enjeux géopolitique et géostratégique. En effet, cet échiquier Est-africain serait au cœur des enjeux géopolitique et géostratégique de Pékin en deux raisons. La première serait fondée sur la défense, la sécurité et la protection de ses intérêts vitaux hors ses frontières : les entreprises chinoises, le marché africain, les intérêts pétroliers entreraient dans cette logique. La deuxième raison serait justifiée par son souci non seulement de peser sur le Continent Africain, mais aussi, à notre avis, par sa volonté, son ambition de dominer, d'influencer et de contrôler les espaces vitaux se trouvant sur ce continent afin de participer à la rivalité pour la conquête du pouvoir et la quête de la domination à l'échelle mondiale.

Pour comprendre pourquoi et comment la Corne de l'Afrique est actuellement au cœur des enjeux géopolitique et géostratégique de la Chine, cet essai sera structuré en quatre points. Le premier point abordera le cadre théorique et explicatif des concepts, le deuxième point analysera la Corne de l'Afrique comme couloir stratégique pour la Chine, le troisième point étudiera comment et pourquoi la Corne de l'Afrique constitue un enjeu géopolitique pour Pékin et le quatrième point démontrera comment la Corne de l'Afrique est au cœur des enjeux géostratégiques de la Chine.

1 CHAMP THÉORIQUE ET EXPLICATIF DES CONCEPTS

Par définition, la théorie en sciences sociales est considérée comme un ensemble cohérent des propositions ou des généralisations permettant d'expliquer un certain nombre des phénomènes. Elle est considérée de façon moins stricte parfois comme un cadre conceptuel permettant l'organisation de la recherche et la formulation d'hypothèses tendant à éclairer les phénomènes étudiés¹¹.

1.1 LA COMPRÉHENSION DE LA GÉOPOLITIQUE ET DE LA GÉOSTRATÉGIE

Il n'existe pas une définition unique de la géopolitique et de la géostratégie. Il en existe plusieurs selon différents auteurs. La géopolitique a été présentée pour la première fois par Rudolf Kjellen en 1905 et pour lui, la géopolitique est la science de l'Etat en tant qu'organisme vivant tel qu'il se manifeste dans l'espace¹². L'Etat est un organisme vivant car l'histoire a démontré

⁹Serge Mbenza, Art. cit., p. 4.

¹⁰ « Géographie et population du Djibouti », en ligne sur internet, <http://www.djibouti.dj/fr/a-propos-de-djibouti/geographie-et-population>, consulté le 04 2018 à 20heures.

¹¹ Biyoya, M., *Comprendre les Relations Internationales. Les anciens et les nouveaux paradigmes*, Kinshasa, éd. IPRIS, Médiaspaul, 2015, p. 65.

¹² Florian Louis, *Op.cit.*, 2014, p.12.

que les Etats naissent, vivent et disparaissent. La dislocation du pacte de Varsovie et la disparition du bloc soviétique : URSS de 1945-1991¹³, reste une illustration éloquentes.

Z. Brezezinski souligne que la géopolitique reflète la combinaison des facteurs géographiques et politiques déterminant la condition d'un Etat ou d'une région et souligne l'influence de la géographie sur la politique¹⁴. La politique étrangère des Etats est dans leur géographie c'est-à-dire l'espace prédispose l'Etat à avoir ou à adopter telle ou telle politique étrangère. La géostratégie c'est la science qui étudie l'action des forces militaires, politiques, économiques, morales impliquées dans la conduite de la guerre, soit dans la préparation de la défense des intérêts vitaux d'un Etat.

1.2 CHAMP THÉORIQUE : LE « HEARTLAND », LE « RIMLAND » ET LE « SEA POWER »

La notion de heartland était théorisée par le géographe britannique Halford Mackinder et celle de rimland par le politologue américain Nicholas John Spykman et celle sea power par Alfred Mahan. Mackinder est considéré comme le fondateur de la géopolitique classique, et à l'origine d'une théorie celle du « pivot du monde ». Pour lui, celui qui contrôle la masse continentale autour du pivot géographique du monde, domine le monde. Ceci dans un contexte terre-mer. Il part du principe selon lequel il n'existe sur la planète, outre la surface immergée 71% de la surface du globe qu'il baptise « océan mondial » qu'une principale masse terrestre unie Asie-Europe-Afrique qu'il nomme île mondiale ; cette masse a un centre, un cœur appelé le « heartland », ceci est entouré d'obstacles naturels appelés croissant intérieur, tels que le relief d'Himalaya¹⁵.

Le pivot géographique du monde ou heartland désigne la partie intérieure et nord de l'Eurasie allant de la Baltique à la Sibérie et de l'Arctique à l'Asie centrale¹⁶. Il est le cœur des puissances terrestres, profitant de ces étendues désertiques pour circuler. Pour Mackinder « celui qui tient le heartland commande l'île mondiale ; celui qui tient cette île commande au reste du monde domine le monde »¹⁷. Nicholas John Spykman, géopolitologue britannique, développe quant à lui la théorie du rimland. Contrairement à Mackinder, le pivot géographique ne correspond pas au heartland, mais aux coastlands terres littorales, anneaux de terre. Pour lui, rimland désigne les zones côtières de l'Eurasie. Il comprend : l'Europe côtière, les déserts d'Arabie et du Moyen-Orient et l'Asie des moussons. Le rimland est la région où s'entrechoquent les conflits entre puissances terrestres et puissances maritimes. Sa situation côtière est à la fois un avantage pour les communications et une faiblesse majeure face aux invasions¹⁸.

En effet, Spykman reformule la théorie de Mackinder en affirmant que « qui tient le rimland, tient l'Eurasie, qui domine l'Eurasie contrôle le destin du monde ». Pour lui tout se joue donc à la périphérie, le bassin méditerranéen, le Moyen orient et l'Asie ; un espace gigantesque qui se trouve entre le cœur et les mers riveraines réunies par Mackinder sous l'appellation de l'Océan mondial où se trouvent les principales zones de passage et aussi d'échanges économiques mondiales. Si l'on contrôle ces zones tampons on peut alors soit contenir les velléités des puissances du heartland et créer un équilibre de force dans le monde, soit enfermer le heartland et dominer le monde¹⁹. Théoriquement, Mahan a attiré l'attention sur le rôle de l'espace maritime dans les rivalités de puissance : c'est la théorie de thalassopolitique.

La clef de la puissance selon Mahan ne réside pas dans la conquête terrestre mais dans la conquête des mers. « Qui veut dominer le monde doit dominer les mers ». Dans son premier livre, Mahan nous donne l'histoire de la puissance maritime qu'il remonte à l'antiquité pour dire que c'est par les mers que les pays de l'époque ont dominé le monde. Ensuite est venu le Royaume Uni. Condition pour que les USA deviennent une puissance maritime :

- La position géopolitique du pays : un pays qui ne dispose pas des ouvertures sur la mer éprouvera beaucoup de difficultés à devenir une puissance maritime.
- Tenir compte de la conformation c'est-à-dire les contours, les côtes qui servent de frontière à un Etat qui pose le problème d'accessibilité

¹³ Jean Baptiste Durosset, *Histoire des relations internationales de 1945 à nos jours*, Paris, éd. Armand Colin, 2004.

¹⁴ Florian Louis, *Op.cit.*, 2014, p. 19.

¹⁵ Chautard S, *L'indispensable de la géopolitique*, éd. Studyrama, Paris, 2004, p 23.

¹⁶ Baconnet, A., « La Guerre de Corée 1950-1953, un conflit chaud dans la guerre froide », in *Revue Géostratégiques* n° 17, la Chine, septembre 2007, p176

¹⁷ Chautard, S., *op.cit.* p 24

¹⁸ Idem

¹⁹ Chautard, S., *op.cit.* p 24

- L'extension territoriale : pour Mahan, ce qui compte c'est la longueur des côtes d'un pays et la nature de ses baies
- Le caractère national : la personnalité d'un peuple qui le rend plus ou moins prédisposer à la puissance maritime c'est-à-dire la population qui a le sens du commerce, le goût de l'aventure ect...

Ces théories nous permettent d'expliquer l'intérêt stratégique de la Corne de l'Afrique. Nous pensons que la Corne de l'Afrique appartient à la fois au Sea power et au rimland. Elle est un de ses territoires du Continent Africain ouverts aux invasions et également convoitée en tant que lieu de passage du continent à l'océan et de l'océan au continent. La Corne constitue un pont entre trois mondes. Elle permet l'accès à l'Asie pacifique par la mer rouge, la mer d'Arabie et par l'Océan indien d'une part et d'autre part, la Corne de l'Afrique permet l'accès au Continent Européen par la mer méditerranée via la mer rouge en passant le Canal de Suez, mais aussi l'accès de ces deux Continents via ses voies de passage d'importance stratégique et géopolitique. Elle représente également une opportunité à l'expansion de l'Empire commerçant dans le Continent Africain, dans le Continent Asiatique et par ricochet, dans le Monde. La Corne de l'Afrique est sans ambages, un espace stratégique pour quiconque voudrait dominer non seulement l'Afrique mais aussi contrôler les entrées et les sorties allant de l'Asie, de l'Europe et du Moyen Orient vers l'échiquier Africain et vice versa. Ainsi, de son contrôle dépend l'hégémonie sur la Masse Eurasiatique.

2 LA CORNE DE L'AFRIQUE : COULOIR STRATÉGIQUE ET COMMERCIAL DE LA CHINE

L'ouverture de l'empire de Chine sur l'extérieur, permet la mise en place d'un système dynamique d'échange des biens et services (thé, épices, soie, porcelaine, poudre, produits métalliques) des idées et des religions par les commerçants, les voyageurs tel le célèbre Marco Polo²⁰. La « Route de la Soie » est la courroie de transmission sinon le pont entre l'Asie, l'Europe et l'Afrique. Elle est au service du commerce et d'échanges avec d'autres pour l'amitié et à des fins de développement, souligne Mwayila Tshiyembe, mais également à notre avis, ce couloir est aussi la ligne de démonstration de la puissance pour la domination à l'échelle globale. Par son importance géographique, la Corne de l'Afrique est hier comme aujourd'hui, considérée comme le couloir stratégique et commercial de la Chine pour la libéralisation de ses échanges des biens et services et dont sa maîtrise et son contrôle confèreraient à l'Empire du Milieu, le statut de puissance dominante longtemps perdue.

En effet, cette idée donnerait raison à la thèse selon laquelle : « en faisant de la diplomatie du négoce le cercle vertueux du développement, Deng Xiaoping et les forces modernisatrices autour de lui ont donné un souffle nouveau à la Chine perdue et gangrenée, depuis des décennies de marxisme et d'économie administrée, par la révolution culturelle de Mao Zedong »²¹, par opposition au double choix de l'économie de marché et du capitalisme d'Etat : variable structurant la politique économique de Xiaoping.

A cet effet, ceci serait affirmé par le fait que ce détroit de Bab-el-Mandeb est le deuxième détroit important du monde après le Canal de Suez parce que reliant la mer Rouge et la Méditerranée ainsi que le Sud-Ouest de l'Asie à l'Est de l'Afrique et de l'Europe. Il est également un point de passage maritime stratégique qui relie la mer Rouge au golfe Persique et ses frontières maritimes sont partagées par le Yémen, l'Erythrée et Djibouti²². Il est en effet un passage hyper stratégique pour le pétrole brut ou raffiné, entre l'Océan Indien et la mer Méditerranée via le canal de Suez. La plupart des exportations de pétrole du golfe persique transitent par ce détroit qui voit passer chaque jour des tankers chargés au total de 3,8 million de barils de pétrole ou équivalent²³.

En 2013, ce détroit a vu passer chaque jour 3,8 millions de barils de pétrole brut et raffiné, dont 2,1 millions de barils en provenance du golfe Arabo-Persique et à destination du Canal de Suez, du pipeline Sumed (Suez-Méditerranée) puis de l'Europe et de l'Amérique du Nord, et le reste vers les marchés asiatiques²⁴. Le pétrole qui passe par le détroit de Bab el-Mandeb représente l'équivalent de la moitié des importations chinoises en or noir et de 90% des importations japonaises²⁵.

²⁰ Mwayila Tshiyembe, *La politique étrangère des grandes puissances*, Paris, éd. Harmattan, 2012, p. 236.

²¹ Idem

²² Voir : « Bab el-Mandeb, un haut lieu militaire et stratégique », article publié le 10 octobre 2015, en ligne sur internet, <http://le-blog-sam-la-touche.over-blog.com/2015/10/Bab-el-Mandeb-un-haut-lieu-militaire-et-strategique-irib.html>, consulté le 06 juin 2018 à 07h43'.

²³ Euronews, « Le conflit du Yémen et le détroit stratégique de Bab el Mandeb », article publié le 30 mars 2015, en ligne sur internet, <http://fr.euronews.com/2015/03/30/le-conflit-au-yemen-le-detroit-strategique-de-bab-el-mandeb>, consulté le 06 juin 2018 à 07h11'.

²⁴ Voir : « Le détroit de Bab-el-Mandeb au cœur des enjeux stratégiques de l'Égypte ? », article publié le 07 décembre 2017, en ligne sur internet, <https://reseauinternational.net/le-detroit-de-bab-el-mandeb-au-coeur-des-enjeux-strategiques-de-legypte/>, consulté le 06 juin 2018.

²⁵ Hochet, N., art. cit., en ligne sur internet, <http://www.mondorient.com/2016/10/12/yemen-bab-el-mandeb-le-detroit-menace>.

Ce détroit est ainsi stratégique pour les pays importateurs, exportateurs et riverains que ce passage maritime reste libre d'accès²⁶. Une éventuelle fermeture du détroit (comme cela s'est produit en 1973) obligerait les navires à contourner l'Afrique afin d'atteindre l'Asie. Ainsi, bien que la création de l'oléoduc Sumed en 1975 soit venue tempérer cette dépendance envers Suez et Bab el-Mandeb en permettant d'acheminer le pétrole de la Mer Rouge à la Mer Méditerranée via l'Égypte, le détroit demeure une artère clé de l'économie mondiale²⁷. En outre, près de 21 000 navires, chargés de marchandises de toutes sortes, traversent, tous les ans, le détroit de Bab-el-Mandeb²⁸. Ce détail suffirait pour comprendre pourquoi et comment la Corne de l'Afrique serait de ses intérêts et préoccupation géopolitiques Chinois. Ainsi, examinons pourquoi et comment la Corne de l'Afrique serait au cœur des enjeux géopolitiques de l'empire de Chine.

3 LA CORNE DE L'AFRIQUE : AU CŒUR DES ENJEUX GÉOPOLITIQUES DE LA CHINE

Par sa position géographique, la Corne de l'Afrique intéresse non seulement les puissances américano-occidentales mais aussi les puissances asiatiques et les Etats ambitieux et soucieux de participer au leadership régional ou mondial. En effet, la Corne de l'Afrique est à notre avis, un des espaces très stratégiques du Continent Africain ouverts aux invasions et également convoitée en tant que lieu de passage du continent à l'océan et de l'océan au continent. Comme souligné en sus, la Corne constitue un pont entre trois mondes. Primo, elle permet l'accès à l'Asie pacifique par la mer rouge, la mer d'Arabie et par l'Océan indien, secundo, la Corne de l'Afrique permet l'accès au Continent Européen par la mer méditerranée via la mer rouge en passant le Canal de Suez et tertio, elle facilite l'accès de ces deux Continents via ces voies de passage d'importance stratégique et géopolitique au Continent Africain vice versa. Elle représente également une opportunité à l'expansion de l'Empire commerçant dans le Continent Africain, dans le Continent Asiatique et par ricochet, dans le Monde.

Sans avoir oublié son rôle à jouer sur le terrain mondial, la présence de l'Empire du milieu dans cet espace permettrait de comprendre les ambitions de Pékin à rivaliser avec les Etats-Unis, le Japon afin d'empêcher l'un comme l'autre à prendre le contrôle des espaces aux enjeux vitaux et étendre leur domination dans la masse Afro-Asiatique. En marquant sa permanence via sa base de Djibouti, la Chine serait entrain non seulement de démontrer sa vision de parité stratégique et son souci de rééquilibrer la carte de la distribution de la puissance mais également à notre réflexion, elle est à la quête et à la conquête des espaces vitaux pour sa survie. Ainsi, la Corne de l'Afrique serait perçue comme un espace stratégique pour quiconque voudrait dominer à la fois l'Afrique et contrôler les entrées et les sorties allant de l'Asie, de l'Europe et du Moyen Orient vers l'échiquier Africain et vice versa. Ainsi, de son contrôle dépend l'hégémonie sur la Masse Eurasiatique. Vu sous cet angle, les réflexions de Spykman sur le Rimland feraient autorité en ce qui concerne l'installation de la base militaire de la Chine à Djibouti. Car, contrairement à Mackinder qui aurait souligné que l'Eurasie ou le Cœur de terre serait le pivot des relations internationales et l'origine des conflits dans un éternel rapport des forces pour la domination mondiale²⁹, Spykman pense que le rimland : les pour tour, les périphéries ou les voies d'entrées et des sorties seraient la clef pour la quête de la domination à l'échelle globale pour tout Etat qui les maîtriserait. C'est dans perspective que Claval note que le rimland est né pour désigner les puissances de la périphérie maritime³⁰. L'enjeu géopolitique de Pékin dans la Corne de l'Afrique serait motivé par le droit de Bab-el-Mandeb qui constituerait pour l'empire de Chine un point de passage stratégique.

Dès lors, la fermeture de ce détroit pour une ou plusieurs raisons quelconques, pourrait constituer un obstacle majeur pour le commerce du pétrole et une menace à la libéralisation des échanges des biens et services à l'échelle mondiale, facteur de prospérité, de bien-être et de paix entre les Nations, pour reprendre l'expression des libéraux³¹, avec le risque de générer les conflits entre les Etats ou entre les entreprises commerciales. Ce qui pourra freiner les ambitions géopolitiques de puissance maritime de l'empire de Chine. Toutefois, une fois maîtrisée et contrôlée du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, la façade maritime de 314 km, allant de la mer Rouge à l'Océan Indien, en passant par le détroit de Bab el-Mandeb et qui s'étend du cap

²⁶ Voir : « Le détroit de Bab-el-Mandeb au cœur des enjeux stratégiques de l'Égypte ? », article publié le 07 décembre 2017, en ligne sur internet, <https://reseauinternational.net/le-detroit-de-bab-el-mandeb-au-coeur-des-enjeux-strategiques-de-legypte/>, consulté le 06 juin 2018 à 06h43'.

²⁷ Fauret, S., art.cit., en ligne sur internet, <https://www.lesclesdumoyenorient.com/Geopolitique-du-detroit-de-Bab-el.html>.

²⁸ Lire, « Bab el-Mandeb, un haut lieu militaire et stratégique », article publié le 10 octobre 2015, en ligne sur internet, <http://le-blog-sam-la-touche.over-blog.com/2015/10/Bab-el-Mandeb-un-haut-lieu-militaire-et-strategique-irib.html>, consulté le 20 juin 2018 à 07h43'.

²⁹ Gauchon, P., et Huissoud, J., M., *Les 100 mots de la géopolitique*, Paris, éd. Puf, 2009, p. 10.

³⁰ Claval Paul, *Géopolitique et Géostratégie, la pensée politique, l'espace et le territoire au 20^e siècle*, Paris, éd. Nathan, 1996, p. 41.

³¹ Alex Macleod et Dan O' Meara, *Théories des relations internationales, contestations et résistances*, Québec, éd. Athéna, CEPES, 2007, p. 98.

(ras) Douméra, au Nord, au village de Loyada, au Sud fera de cette Corne d'Afrique un centre non seulement des rivalités et des conflictualités géopolitiques mais aussi pourra permettre à la Chine de participer au leadership régional et mondial. L'importance géopolitique de cette Corne d'Afrique nous renvoie à la démonstration géostratégique de la Chine dans cet échiquier Est-africain.

4 DÉMONSTRATION GÉOSTRATÉGIQUE DE LA CHINE DANS LA CORNE AFRICAINE

Si la géostratégie est un secteur de la géopolitique qui a pour vocation l'examen des forces et leur installation, elle étudie également l'action des forces militaires, politiques, économiques impliquées dans la conduite de la guerre, soit dans la préparation de la défense des intérêts vitaux d'un Etat. La présence de la base militaire de la Chine dans la Corne de l'Afrique ne semble pas s'éloigner de cette logique géostratégiquement réaliste fondée la défense de ses intérêts vitaux, soit sur la sécurité de ses débouchés afin de faciliter la circulation de ses biens et services en provenance de l'Asie, de l'Europe et de l'Afrique, soit pour la réalisation de ses ambitions de contrôle pour la domination à l'échelle régionale et mondiale. L'alliance sino-africaine scellée manifestement depuis 2000 justifie ces hypothèses. A cet effet, Thual signale que certaines alliances sont au service de la réaliser d'une ambition, de contrer une menace et d'autres alliances sont focalisées sur la stabilisation d'une région³².

Nous pensons de ce point de vue que le déploiement de la première base militaire chinoise hors des frontières et dont l'échiquier djiboutien est la zone stratégique donne sens à la démonstration géostratégique et justifie l'intérêt géopolitique de l'Empire du Milieu dans la Corne de l'Afrique. Cet impératif géostratégique conduit Pékin à répondre au besoin du maintien de paix et de sécurité internationale : principe chère à l'Organisation des Nations Unies. La présence de la marine chinoise depuis 2008 au large de la Somalie et dans le golfe d'Aden et son implication dans la lutte contre la piraterie maritime dans la Corne de l'Afrique,³³ accorderait raison à cette réflexion. Depuis quelques années, le golfe d'Aden est devenu le paradis des pirates somaliens. Ce phénomène a trait aux caractéristiques toutes particulières de la région auxquelles les pirates se sont finalement adaptés. Une série de facteurs font de la Somalie un terrain propice au développement de ce fléau : la configuration géographique de la zone avec ses 3 700 kilomètres de côtes, la déliquescence de l'Etat somalien et l'instabilité politique qui y règnent et l'extrême pauvreté d'une population pratiquant une pêche de substance³⁴. Cette réalité qui semble rendre impuissant les efforts que fournissent les Etats-Unis, la Chine, la France et les autres puissances tant régionale qu'internationales donneraient raison à Badie, lorsqu'il évoque la thèse de l'impuissance de la puissance³⁵.

Le lancement de la construction de sa base militaire à Djibouti aurait eu lieu au début de l'année 2016. L'inauguration de cette installation militaire serait intervenue au mois d'août 2017³⁶, suivi de l'augmentation de l'effectif militaire composant cette base de la Chine allant de 300 individus en 2016 et pourrait avoir aujourd'hui l'effectif de 10 000 militaires, intégrant l'armée de terre, l'armée de l'air et l'armée de mer, soit l'équivalent d'une division³⁷. Les projets chinois dans cet échiquier Est-africain : ports, chemins de fer, routes, aéroports, zone franche, etc. représentant des investissements de près de 14 milliards de dollars depuis 2012, dont une partie sous forme de prêts³⁸, dévoileraient non seulement les ambitions de

³² François Thual et DevinY, *Méthodes de la géopolitique*, pp. 1-7 disponible sur <http://www.dachary.org/obses/geopo.html>, consulté le 18 juillet 2018.

³³ Bayo, I. J., « Hard-power : la Chine déploie à Djibouti sa première base militaire à l'étranger », article publié le 13 juillet 2017, en ligne sur internet, <https://afrique.latribune.fr/politique/2017-07-13/hard-power-la-chine-deploie-a-djibouti-sa-premiere-base-militaire-a-l-etranger-743884.html>, consulté le 09 juin 2018 à 13h52'.

³⁴ Maud, H., « La piraterie maritime dans le golfe d'Aden : état des lieux » in *Note d'Analyse du GRIP*, Bruxelles, 16 septembre 2010, p.3, en ligne sur internet, http://www.grip.org/fr/siteweb/images/NOTES_ANALYSE/2010/NA_2010-09-20_FR_M-HUBERT.pdf, consulté le 09 juin 2018 à 12h55'.

³⁵ Badie Bertran, *L'impuissance de la puissance*, Paris, éd. CNRS, 2013.

³⁶ AFP, « La Chine inaugure à Djibouti sa première base à l'étranger », article publié le 01 août 2017, en ligne sur internet, https://www.lexpress.fr/actualites/1/monde/la-chine-inaugure-a-djibouti-sa-premiere-base-a-l-etranger_1932233.html, consulté le 09 juin 2018 à 12h22'.

³⁷ Schaeffer, D., « Chine – Djibouti : Pourquoi un tel effectif militaire sur la base chinoise ? », article publié le 14 février 2018, en ligne sur internet, <https://asie21.com/2018/02/14/chine-djibouti-pourquoi-un-tel-effectif-militaire-sur-la-base-chinoise/>, consulté le 09 juin 2018 à 13h54'.

³⁸ Le Gouriellec, S. « Quel est l'impact de la présence chinoise sur la politique étrangère de Djibouti ? », in *Tribune*, n° 897, mai 2017, p.2.

supériorité économique de l'Empire commerçant mais aussi renforceraient les velléités géopolitiques et géostratégiques de l'Empire du Milieu dans sa quête pour l'hégémonie à l'échelle continentale ou mondiale.

Dans cette lutte pour la domination globale, la base militaire américaine de Djibouti est non seulement vitale mais aussi semble constituer un rapport de force avec la Chine. Elle sert de rampes de lancement de drones pour des opérations antiterroristes en Somalie et au Yémen. Et de base pour les opérations anti-pirates dans la mer Rouge³⁹. Pour certains observateurs, ce déploiement au nom de la lutte anti-terroriste serait un prétexte, car le Pentagone envisageait depuis longtemps (bien avant le 11 septembre) de s'installer dans la région. Le véritable objectif inavoué serait de garder un contrôle sur Bab-el-Mandab, le débouché méridional de la Mer Rouge, point stratégique sur la route du pétrole. Toutefois, nous devons ajouter que dans sa nouvelle doctrine stratégique présentée mi-janvier 2018, le Pentagone écrit que la compétition entre les grandes puissances, et non plus le terrorisme, serait désormais la priorité de Washington en matière de sécurité nationale et ajoute que contrer les ambitions de la Chine et de la Russie est au cœur de cette stratégie⁴⁰.

Notons que l'enjeu géostratégique Chinois dans la Corne d'Afrique, manifesté par l'implantation de sa base militaire à Djibouti ferait partie du tableau plus large de l'expansion de cet empire du milieu en Afrique qui aurait été entamé à la fin du XX^e siècle. De ce fait, Djibouti est un élément clef de la nouvelle « route de soie »⁴¹ voulue par Pékin. C'est pourquoi, la Chine a d'ailleurs aidé à financer la rénovation des connexions ferroviaires avec l'Éthiopie voisine, le deuxième pays le plus peuplé d'Afrique, en très forte croissance. Pour le Ministre chinois de la Défense, la base chinoise servira à soutenir « les escortes navales en Afrique et au Moyen-Orient, les opérations de maintien de la paix (de l'ONU) et l'aide humanitaire »⁴². Le réalisme de la Chine serait justifié par son souci de protéger ses investissements dans le territoire Djiboutien⁴³ : espace stratégique situé dans la Corne de l'Afrique.

5 CONCLUSION

Si hier, l'empire de Chine aurait de manière avouée et prononcée fait le choix de la coopération économique et commerciale avec ses partenaires Africain, Américain et Européen, aujourd'hui, l'empire du milieu semble se lancer de façon implicite et inavouée dans un champ géopolitique et géostratégique dans la Corne de l'Afrique. Basculant et donnant une porte d'entrée et de sortie vers les espaces maritimes et terrestres, la Corne de l'Afrique revêt pour multiples acteurs un espace stratégique de grande envergure. Allant de la République du Kenya, de la Somalie, de l'Éthiopie jusqu'à l'Érythrée en passant par Djibouti, la Corne de l'Afrique possède une ouverture vers l'Océan indien, la Mer rouge et la Mer d'Arabie d'une part et d'autre part, l'importance stratégique de cet échiquier Est-Africain est accentuée par son avantage d'accès à la Mer méditerranée en passant par la Mer rouge ou par le port du Soudan, dont le Canal de Suez constituerait le point d'appui pour y arriver. Par ailleurs, le détroit de Bab-el-Mandeb et la baie du golfe d'Aden fait du littoral de Djibouti un point de passage commercial entre l'Asie, la péninsule arabique et l'Afrique de l'Est, rendant de plus en plus la Corne de celle-ci célèbre sur le plan géopolitique. Sans abandonner son ambition économique et commerciale, Pékin fait actuellement de la Corne de l'Afrique sa priorité géopolitique et géostratégique.

En effet, l'enjeu géopolitique de la Chine dans la Corne de l'Afrique est à notre avis, motivé par trois raisons. Primo, elle permet l'accès à l'Asie pacifique par la mer rouge, la mer d'Arabie et par l'Océan indien, secundo, la Corne de l'Afrique permet l'accès au Continent Européen par la mer méditerranée via la mer rouge en passant le Canal de Suez et tertio, elle facilite l'accès de ces deux Continents via ces voies de passage d'importance stratégique et géopolitique au Continent Africain vice versa. Elle représente également une opportunité à l'expansion de l'Empire commerçant dans le Continent Africain, dans le Continent Asiatique et par ricochet, dans le Monde. La défense et la sécurité de ses intérêts vitaux hors ses frontières par le

³⁹ RFI, « Rex Tillerson se rend à Djibouti sur une base américaine stratégique en Afrique », en ligne sur internet, <http://www.rfi.fr/afrique/20180309-rex-tillerson-rend-djibouti-une-base-americaine-strategique-afrique>, consulté le 09 juin 2018 à 13h55'.

⁴⁰ France 24, « A Djibouti, Pékin et Washington en pleine lutte d'influence », en ligne sur internet, <http://france24.com/fr/20180307-chine-djibouti-pekine-etats-unis-lutte-influence-port-doraleh-militaire-securite&grqid>, consulté le 9 juin 2018 à 13h59'.

⁴¹ Les données disponibles sur internet : <https://www.capital.fr/entreprises-marches/chine-les-nouvelles-routes-de-la-soie-grands-projet-semes-dembouches-1255303>, consulté le 12 juin 2018.

⁴² AFP, art.cit., en ligne sur internet, https://www.lexpress.fr/actualites/1/monde/la-chine-inaugure-a-djibouti-sa-premiere-base-a-l-etranger_1932233.html.

⁴³ RFI, « La Chine veut une base militaire à Djibouti », article publié le 11 mai 2015, en ligne sur internet, <http://www.rfi.fr/afrique/20150511-djibouti-chine-corne-afrique-golfe-aden-base-militaire-defense-pekine>, consulté le 09 juillet 2018 à 06h33'.

biais de sa base militaire à Djibouti démontre comment cet échiquier serait au cœur des enjeux géostratégiques de la Chine. Ceci permettrait de comprendre les ambitions de Pékin à rivaliser avec les Etats-Unis, le Japon afin d'empêcher l'un comme l'autre à prendre le contrôle des espaces vitaux et étendre leur domination dans la masse Afro-Asiatique. L'hypothèse selon laquelle les périphéries ou les voies d'entrées et des sorties seraient la clef pour la domination à l'échelle globale pour tout Etat qui les maîtriserait, donnerait sens à cette analyse.

De ce fait, les réflexions de Spykman sur le Rimland et celles d'Alfred Mahan sur le Sea power feraient autorité. Car, si Spykman pense que les pour tour, les périphéries ou les voies d'entrées et des sorties seraient la clef pour la quête de la domination à l'échelle globale pour tout Etat qui les maîtriserait, Alfred Mahan révèle que la domination du Monde exigerait le contrôle des mers. Ainsi, Claval note que le rimland est né pour désigner les puissances de la périphérie maritime⁴⁴. En marquant sa permanence via sa base de Djibouti, la Chine serait entraînée non seulement de démontrer sa vision de parité stratégique et son souci de rééquilibrer la carte de la distribution de la puissance mais également à notre réflexion, elle est à la quête et à la conquête des espaces vitaux pour sa survie. Ainsi, la Corne de l'Afrique semble être perçue comme un espace stratégique pour quiconque voudrait dominer à la fois l'Afrique et contrôler les entrées et les sorties allant de l'Asie, de l'Europe et du Moyen Orient vers l'échiquier Africain et vice versa.

De son contrôle dépend l'hégémonie sur la Masse Eurasiatique. Le déploiement de la première base militaire chinoise hors ses frontières et dont l'échiquier djiboutien est la zone stratégique donne sens à la démonstration géostratégique et justifie l'intérêt géopolitique de l'Empire du Milieu dans la Corne de l'Afrique. Cet impératif géostratégique conduit Pékin à répondre au besoin du maintien de paix et de sécurité internationale : principe chère à l'Organisation des Nations Unies. La présence de la marine chinoise depuis 2008 au large de la Somalie et dans le golfe d'Aden et son implication dans la lutte contre la piraterie maritime dans la Corne de l'Afrique,⁴⁵ accorderait raison à cette réflexion. Le lancement de la construction de sa base militaire à Djibouti aurait eu lieu au début de l'année 2016. L'inauguration de cette installation militaire serait intervenue au mois d'août 2017, suivi de l'augmentation de l'effectif militaire composant cette base de la Chine allant de 300 individus en 2016 et pourrait avoir aujourd'hui l'effectif de 10 000 militaires, intégrant l'armée de terre, l'armée de l'air et l'armée de mer, soit l'équivalent d'une division⁴⁶.

REMERCIEMENT

Je tiens à marquer ma gratitude et mes remerciements aux Professeurs Mwayila Tshiyembe, Jean Bosco Germain Esambu Matenda-A- Baluba et Tshimpanga Matala Kabangu pour leur encadrement scientifique et moral.

REFERENCES

- [1] Alex Macleod et Dan O' Meara, *Théories des relations internationales, contestations et résistances*, Quebec, éd. Athéna, CEPES, 2007,
- [2] Amelie Blom et Charillon F., *Théories et concepts des relations internationales*, Paris, éd. Hachette, 2001.
- [3] Badie Bertran, *L'impuissance de la puissance*, Paris, éd. CNRS, 2013.
- [4] Biyoya, M., *Comprendre les Relations Internationales. Les anciens et les nouveaux paradigmes*, Kinshasa, éd. IPRIS, Médiaspaul, 2015
- [5] Chautard S, *L'indispensable de la géopolitique*, éd. Studyrama, Paris, 2004
- [6] Claval Paul, *Géopolitique et Géostratégie, la pensée politique, l'espace et le territoire au 20^e siècle*, Paris, éd. Nathan, 1996
- [7] Dario Battistella, *Paix et guerre au XX^e siècle*, Paris, éd. Sciences humaines, 2012,
- [8] Florian Louis, *Les grands théoriciens de la géopolitique*, Paris, éd. Puf, 2014,
- [9] Gauchon, P., et Huissoud, J., M., *Les 100 mots de la géopolitique*, Paris, éd. Puf, 2009

⁴⁴ Claval Paul, *Géopolitique et Géostratégie, la pensée politique, l'espace et le territoire au 20^e siècle*, Paris, éd. Nathan, 1996, p. 41.

⁴⁵ Bayo, I. J., « Hard-power : la Chine déploie à Djibouti sa première base militaire à l'étranger », article publié le 13 juillet 2017, en ligne sur internet, <https://afrique.la Tribune.fr/politique/2017-07-13/hard-power-la-chine-deploie-a-djibouti-sa-premiere-base-militaire-a-l-etranger-743884.html>, consulté le 09 juin 2018 à 13h52'.

⁴⁶ Schaeffer, D., « Chine – Djibouti : Pourquoi un tel effectif militaire sur la base chinoise ? », article publié le 14 février 2018, en ligne sur internet, <https://asie21.com/2018/02/14/chine-djibouti-pourquoi-un-tel-effectif-militaire-sur-la-base-chinoise/>, consulté le 09 juin 2018 à 13h54'.

- [10] Jean Baptiste Durosset, Histoire des relations internationales de 1945 à nos jours, Paris, éd. Armand Colin, 2004.
- [11] Mwayila Tshiyembe, La politique étrangère des grandes puissances, Paris, éd. Harmattan, 2012
- [12] Pascale Boniface, La géopolitique, les relations internationales, éd. Eyrolles, 2011,
- [13] Philippe Richer, L'offensive chinoise en Afrique, Paris, éd. Karthala, 2008,
- [14] Maud, H., « La piraterie maritime dans le golfe d'Aden : état des lieux » in Note d'Analyse du GRIP, Bruxelles, 16 septembre 2010,
- [15] Serge Mbenza, Les relations Chine-Afrique : quel futur ?, in Revue Dounia, N° 3, septembre 2010.
- [16] <http://www.djibouti.dj/fr/a-propos-de-djibouti/geographie-et-population>,
- [17] <http://le-blog-sam-la-touche.over-blog.com/2015/10/Bab-el-Mandeb-un-haut-lieu-militaire-et-strategique-irib.html>,
- [18] <http://www.rfi.fr/afrique/20150511-djibouti-chine-corne-afrique-golfe-aden-base-militaire-defense-pekine>,
- [19] https://www.lexpress.fr/actualites/1/monde/la-chine-inaugure-a-djibouti-sa-premiere-base-a-l-etranger_1932233.html.
- [20] <https://www.capital.fr/entreprises-marches/chine-les-nouvelles-routes-de-la-soie-grands-projet-comes-dembouches-1255303>,
- [21] <http://france24.com/fr/20180307-chine-djibouti-pekine-etats-unis-lutte-influence-port-doraleh-militaire-securite&grqid>,
- [22] <http://www.dachary.org/obses/geopo.html>,
- [23] <http://www.rfi.fr/afrique/20180309-rex-tellerson-rend-djibouti-une-base-americaine-strategique-afrique>,
- [24] <https://www.asie21.com/2018/02/14/chine-djibouti-pourquoi-un-tel-effectif-militaire-sur-la-base-chinoise/>,
- [25] http://www.grip.org/fr/siteweb.images/NOTES_ANALYSE/2010/NA_2010-09-20-Fr-M-HUBERT
- [26] https://www.lexpress.fr/actualites/1/monde/la-chine-inaugure-a-djibouti-sa-premiere-base-a-l-etranger_1932233.html,
- [27] <https://afrique.latribune.fr/politique/2017-07-13/hard-power-la-chine-deploie-a-djibouti-sa-premiere-base-militaire-a-l-etranger-743884.html>,
- [28] <http://www.le-blog-sam-la-touche.over-blog.com/2015/10/Bab-el-Mandeb-uhautlieu-militaire-et-strategique-irib.html>
- [29] <https://www.lesclesdumoyenorient.com/Geopolitique-du-detroit-de-Bab-el.html>.
- [30] <http://www.mondorient.com/2016/10/12/yemen-bab-el-mandeb-le-detroit-menace> <http://www.fr.euronews.com/2015/03/30/le-conflit-au-yemen-le-detroit-strategique-de-bab-el-mandeb>
- [31] <https://reseauinternational.net/le-detroit-de-bab-el-mandeb-au-coeur-des-enjeux-strategiques-de-legypte/>
- [32] <https://reseauinternational.net/le-detroit-de-bab-el-mandeb-au-coeur-des-enjeux-strategiques-de-legypte/>

Acute toxicity's survey of the MISCA-MATÈS soap

THES Pehie Marie Epse SOUMAHORO¹, OUATTARA Sitapha¹, KPOROU Kouassi Elisée¹⁻², KRA Adou Koffi Mathieu¹, and DJAMAN Allico Joseph¹⁻³

¹Biochemical Pharmacodynamics laboratory, University Felix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

²Biochemistry-Microbiology laboratory, BIONAS Team, University Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

³Biochemistry Medical and Fundamental, Pasteur institute of Cocody, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 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: We studied the cutaneous MISCA-MATES toxicity soap humans. The test of irritation at the man is indispensable to specify the potential irritating power of some better cosmetic preparations. Thirty soaps of MISCA-MATÈS experimentation were delayed on thirty voluntary people. Two methods have been used. The first consists in applying a quantity of soap foam on the hand of the volunteers during 24 hours. The test has been repeated at the same place during 7 days except if an erythema develops in which case the test is stopped. The treatment has not been interrupted after the 7 days of experimentation. The second method consists in distributing to each volunteer a soap for the bath during 7 days and we noted the effects which could produce the soap on their respective skins. The analysis shows that one person out of thirty (3.33 %) felt a slight burn when applying soap while twenty nine persons (96.67 %) felt no burn.

KEYWORDS: toxicity, erythema, MISCA-MATÈS soap.

1 INTRODUCTION

Skin is the first protective gate of the organism which is composed of several layers of fabrics. The integrity of skin can be affected by external agents, like a pathogenic microorganism's colonization, bugs or parasitic, changes provoked by stings, burns, a traumatism or by a systemic affection. Nowadays, having a clearer dye, uniform and luminous is an obsession of many women. However, the use of clearing up cosmetic products fraudulent is dangerous for health.

In the goal to bring a contribution against cutaneous mycosis, a dermo- pharmaceutical soap associating the oils of the plants from *Mareya micrantha*, *Mitracarpus scaber* and *Cassia alata* is manufactured. These plants are used in African pharmacopeia ([1], [2]). Pharmacological and toxicological studies of these plant extracts were done by ([3], [4], [5]). In the same way, antibacterial activities of these plants have been studied by several authors ([6], [7], [8]). Acute toxicity and subacute studies of these plants extracts made ([9], [10]) showed that these substances are moderately toxic. However in the goal to popularize the use of this dermo- pharmaceutical soap in the therapeutic human, it is important to achieve tests of cutaneous toxicity in order to determine the possible side-effect of this soap on skin. The present tests of irritation at the human will give the tolerance level of these plants and will direct their use.

2 MATERIAL AND METHODS

The determination of MISCA-MATÈS soap irritating power has been achieved through two methods: Dermatological irritation tests of the forearm and the irritation tests after 7 days of bath. These tests have been approved by the of ethics committee of Biosciences UFR of Felix Houphouët-Boigny university.

2.1 FIRST METHOD: FOREARM DERMATOLOGICAL IRRITATION TESTS

Thirty volunteer persons have been selected for this present test. We applied 0.5 grams of soap on the forearm of each volunteer. The soap was maintained on the skin thanks to a bandage of sterile absorbent gauze (four thickness) followed by an occlusive covering with a 8 cm broad adhesive plaster on 9 cm length. The application and the occlusive bandage started at 12.00 PM and finished at 15.00 PM a day (**figure 1 & 2**). After the bandage withdrawal, the zone was washed with water, wiped and the bandage was applied after a new soap application during 7 consecutive days. A visual appreciation of the reactions intensity permitted after the 7 days to value the irritation importance (PRUNIERAS et Coll.,1990).



a. Forearm skin before the soap application



b. Forearm skin during the soap application

Fig. 1. Forearm skin aspect before and during the MISCA-MATÈS soap application on the first volunteer



a. Forearm skin before the soap application



b. Forearm skin during the soap application

Fig. 2. Forearm skin aspect before and during the MISCA-MATÈS soap application on the second volunteer

2.2 SECOND METHOD: IRRITATION AFTER A BATH OF 7 DAYS

Each volunteer had a bath with the MISCA-MATÈS soap during 7 days. A card of questions was given to note the effects which could produce the soap on their respective skins.

3 RESULTS

3.1 FIRST METHOD: FOREARM DERMATOLOGICAL IRRITATION TESTS



Fig. 3. Forearm skin aspect 7 days after MISCA-MATÈS soap application on the first volunteer



Fig. 4. Forearm skin aspect 7 days after MISCA-MATÈS soap application on the second volunteer

Any anomaly was observed after 7 days on the two volunteer skin.

3.2 SECOND METHOD: IRRITATION AFTER A BATH OF 7 DAYS

Table 1. Effects after MISCA-MATÈS soap application

Burns since the soap application	YES	NO
Number	1	29
Frequency	3.33%	96.67%

Table 2. Effects during the bath

C Cutaneous burns during the bath	YES	NO
Number	1	29
Frequency	3.33%	96.67%

Table 3. Effects after the bath

C Cutaneous burns after the bath	YES	NO
Number	2	28
Frequency	6.67%	93.33%

Table 4. Itching's feelings since the MISCA-MATÈS soap application

C Itchings since the MISCA-MATÈS soap application	YES	NO
Number	1	29
Frequency	3.33%	96.67%

Table 5. Itching's feelings of the MISCA-MATÈS soap application during the bath

C Itching's feelings of the MISCA-MATÈS soap application during the bath	YES	NO
Number	1	29
Frequency	3.33%	96.67%

Table 6. Itching's feelings of the MISCA-MATÈS soap application after the bath

C Itching's feelings of the MISCA-MATÈS soap application after the bath	YES	NO
Number	3	27
Frequency	10%	90%

Table 7. Other cutaneous trouble

C Other cutaneous trouble	Dry skin or heat	None
Number	2	28
Frequency	6.67%	93.33%

Table 8. Smell

	Sneeze	Nasal flow	Nostrils itchings	Nostrils burn	Nothing
Number	1	1	1	0	27
Frequency	3.33%	3.33%	3.33%	0%	90 %

Table 9. Sight

	Itchings	Burn	Tears	Red eyes	Nothing
Number	2	0	0	0	28
Frequency	6.67%	0%	0%	0%	93.33%

Table 10. Hairs

	Curly	Little curly	Hard	Breakable	Intacts
Number	0	1	0	0	29
Frequency	0%	3.33%	0%	0%	96.67%

Table 11. Sensation after the bath

	Good	Bad	Allergy	Others
Number	27	1	0	2
Frequency	90%	3.33%	0%	6.67%

4 DISCUSSION

In this survey, we wanted to know the effects that soap could produce on the skin after the use. With regard to the direct application on the skin, the thirty volunteers didn't feel any irritation. Their skin supports well the direct contact with the MISCA-MATÈS soap and that it is not contain any chemical ingredient apt to modify the skin's pH or to lead to a physical or chemical aggression. For the thirty volunteers who washed with soap, we also searched for the inflammatory sign apparition

(burns, itches) or not (troubles, discomforts) concerning the nose, the eyes, hairs and the general sensation. The thirty people have been chosen at random. We didn't take into account the skin type (dries, mixed and fat) nor of the color (black or white).

The analysis of the set of the information introverted shows that one person out of thirty (3.33%) felt a light burn since the soap application whereas (twenty nine) people either 96.67% felt no burn. During the bath, one person notified to have felt some burns whereas (29) were satisfied. After the bath, the rate of no one having smelled like no burn is 93.33%. These results make come out again that, in a general way, the MISCA-MATÈS soap doesn't irritate skin. For the itches felt (sensation of itch), the rate of satisfaction is 96.67% during the bath and 90% after the bath. The soap doesn't produce any allergic reactions.

With regard to the general sensation, twenty seven volunteers (90%) are declared that they felt well on the other hand 10% were not satisfied, either because of dry skin (two cases) or of uneasiness (a case) after the bath with soap. For the non-inflammatory sign level, it comes out again that 90% of the volunteers have been satisfied with the soap odor and didn't feel nasal flow, nor burns and itches. As for the action of the MISCA-MATÈS soap on the eyes, the frequency of the person who were not satisfied was 93.33%. On the other hand, two people received the soap foam in the eyes and complained about itches. Finally, the analysis concerning the soap effect on hairs reveals that 96.67% of the volunteers didn't feel any change at the level of the scalp. All these observations indicate that soap is not aggressive and is tolerated well by the human's skin.

5 CONCLUSION

This survey aimed to value the soap toxicity on the volunteer's skin. Studies of cutaneous tolerance showed that MISCA-MATÈS soap doesn't present any undesirable effect. The human skin supports the direct contact well with the MISCA-MATÈS soap and this last would not contain any chemical ingredient apt to disrupt the skin pH or to mislead a physical or chemical aggression. The MISCA-MATÈS soap doesn't entail any deep and deleterious lesion on the skin. The soap doesn't produce any allergic reactions.

ACKNOWLEDGMENTS

Financial support to Biochemical Laboratory of Pharmacodynamics from department of Biosciences of University Felix Houphouët Boigny in Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), Biochemistry - Microbiology laboratory, BIONAS Team, University Jean Lorougnon Guédé (Ivory Coast) and unit of Fundamental Medical Biochemistry of Pasteur Institute (Côte d'Ivoire) are gratefully acknowledged

RÉFÉRENCES

- [1] ADJANOHOUN E. J. & AKE-ASSI L., 1979. Contribution au recensement des plantes médicinales de Côte d'Ivoire. CRES. Université. Côte-d'Ivoire. Centre National de Floristique. 40-219.
- [2] ADJANOHOUN E. J., 1979. Les plantes africaines à propriétés thérapeutiques largement confirmées au 3^{ème} Symposium Interafricain OUA/CSTR sur la Pharmacopée Traditionnelle et les plantes médicinales africaines, Abidjan, 25-29 sept 79. Abidjan. Côte d'Ivoire, 89-91.
- [3] ZIRIHI. N. G., 1991. Contribution au recensement, à l'identification, à la connaissance de quelques espèces végétales utilisées en médecine traditionnel chez les bétés du département d'Issia Thèse de Doctorat 3^e Cycle. Faculté des Sciences et Techniques. Université de Côte.d'Ivoire Abidjan. Botanique et Biologie végétale. 144 pp.
- [4] GUEDE- GUINA F.; VANGAH-MANDA M.; BONGA G. M & DE SOUZA C., 1996. Activité antimicrobienne d'un extrait végétal contre les germes opportunistes au cours du SIDA. Revue Méd. et Pharm. Afric 9 (1), 13-19.
- [5] DOUMBIA I., 2002. Etude de la toxicité chez la souris de *Mareya micrantha* et de *Mitracarpus scaber*. Mémoire DEA. Biotechnologie, Université de Cocody, Abidjan. Côte d'Ivoire. 32pp.
- [6] COULIBALY S. & GUEDE- GUINA F., 1998. Etude de la tolérance cardiovasculaire de MISCA-F2 un anti-cryptococcique de source végétale.JBNA-1. 30 nov-04 déc 1998. *Mitracarpus scaber*. Mémoire DEA. Biotechnologie, Université de Cocody, Abidjan. Côte d'Ivoire. 32pp.
- [7] THES. P M., 2001. Recherche du profil antimicrobien des huiles de G₂₄₃ et de MISCA sur quelques agents des mycoses de la peau. Mémoire DEA. Université de Cocody. UFR Boisciences. Abidjan. Côte d'Ivoire, 30pp.
- [8] TALLA N. R., 2001. Contribution au traitement des candidoses buccales au cours de l'infection à VIH : Evaluation de l'activité antifongique de *Cassia alata* sur la croissance in vitro de *Candida albicans*. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Faculté de Pharmacie. Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 79pp.
- [9] DOUMBIA I., DJYH B. N., ADEBO I., GUEDE- GUINA F., DJAMAN A. J, 2006. Evaluation de la toxicité de MISCA (Rubiaceae) chez la souris. Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies, 08 : 207-215.

- [10] DOUMBIA I., DJAMAN A.J, BAH I CALIXTE, GUEDE- GUINA F., 2007. Evaluation de la toxicité de *Mareya micrantha* (Euphorbiaceae) chez la souris. Les Annales de Botanique de l'Afrique de l'Ouest, 00(5) : 79-86.
- [11] PRUNIERAS M.; AGACHE. P. ; AUBIN G. ; BLANC J. ; BOULOGNE J.; CÉSARINI J-P.; CLAR E.; KALOPISSIS G.; LACHAPELLE J-M.; LAPIÈRE CH-M.; LARDANS L.; LAURENT R.; LÉVÈQUE J-L.; PIERARD G-E., 1990. Précis de cosmétologie dermatologique. 2^e Edition. Masson, 211pp.

ANNEXE

LE QUESTIONNAIRE

Nom
Prénom
Numéro

Signes inflammatoires

- Sentez-vous des brûlures dès l'application du savon « MISCA-MATÈS » sur votre peau ?

Oui ☐

Non ☐

- Sentez-vous des brûlures cutanées pendant le bain ?

Oui ☐

Non ☐

- Sentez-vous des brûlures cutanées après le bain ?

Oui ☐

Non ☐

Si oui, après combien de temps ?

Démangeaisons

- Ressentez-vous des démangeaisons dès l'application du savon « MISCA-MATÈS » sur votre peau ?

Oui ☐

Non ☐

Si oui, comment ?

Fortes ☐ très fortes ☐ faibles ☐ localement ☐

Généralement ☐

- Ressentez-vous des démangeaisons pendant le bain ?

Oui ☐

Non ☐

- Ressentez-vous des démangeaisons après le bain ?

Oui ☐

Non ☐

Si oui, après combien de temps ?

La manifestation: locale générale faible forte

Très fortes

Autres désagréments cutanés :

Autres signes non cutanés

- Odorat

Quels effets sont-ils provoqués pendant et après l'utilisation du savon «MISCA-MATÈS»?

Éternuement écoulement nasal démangeaisons des narines

Brûlure des narines rien

- Vue

Quels effets sont-ils provoqués pendant et après l'utilisation du savon «MISCA-MATÈS»?

Démangeaison brûlures larmes

yeux rouges rien

- Cheveux

Frisés peu frisés durs

se cassent rien

- Comment vous sentez-vous après le bain?

Bien pourquoi

Mal pourquoi

Allergie laquelle

Autres définir

Teneur en eau du sol et diversité floristique sous plantations d'*Eucalyptus saligna* Smith (Myrtaceae) à l'Ouest Cameroun

[Soil water content and floristic diversity under *Eucalyptus saligna* Smith (Myrtaceae) plantation in Western Region of Cameroon]

Lucie Félicité TEMGOUA¹, Marie Caroline MOMO SOLEFACK², Rodine TCHIOFO³, and Isaac Blaise DJOKO¹

¹Université de Dschang, Faculté d'Agronomie et de Sciences Agricoles, Département de Foresterie, Dschang, Cameroun

²Université de Dschang, Faculté de Science, Département de Biologie végétale, Dschang, Cameroun

³Filière des Métiers du Bois de l'Eau et de l'Environnement, Faculté d'Agronomie et de Sciences Agricoles, Ebolowa, Cameroun

Copyright © 2018 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 eucalyptus plantations are experiencing considerable development in the world, but are also subject to controversy. The present study aimed to evaluate the floristic diversity and the allelopathic reflection of *Eucalyptus saligna* plantations in the Baleng forest reserve in Western Region of Cameroon. The experimental design consisted of five parcels, one control parcel and four parcels of Eucalyptus of different ages. In each of the five parcels, three plots of 9 m² (3m x 3m) were randomly selected for the assessment of floristic diversity and soil sampling. In each plot, a circular section of 100 m deep hole was dug and soil samples were collected at three depths (20 cm, 50 cm and 100 cm). Soil analysis were made using the gravimetric method. It emerges from that study that the water content of soil decreases with the deep of soil and age of parcels. A total of 1593 individuals were recorded, grouped into 21 families and 55 species. The three most represented botanical families are Fabaceae (21%), Asteraceae (20%) and Poaceae (16%). But with regard to the number of individuals, the Poaceae family is the most represented with 36% of the individuals, followed by Asteraceae (21%) and Caryophyllaceae (11%). Herbaceous species are largely predominant (92% of individuals). There was no significant difference between the specific richness of the control plot and that of the eucalyptus plots at the 5% threshold (Turkey Test). *Eucalyptus Saligna* did not adversely affect the floristic composition of the understory vegetation.

KEYWORDS: allelopathy, biodiversity, soil humidity, understory.

RÉSUMÉ: Les plantations d'eucalyptus connaissent un développement considérable dans le monde, mais font également l'objet de nombreuses controverses. L'objectif de cette étude était d'évaluer la teneur en eau du sol, la diversité floristique et le reflet allélopathique des plantations d'*Eucalyptus saligna* dans la réserve forestière de Baleng dans la région de l'Ouest Cameroun. Le dispositif expérimental était constitué de cinq parcelles dont une parcelle témoin et quatre parcelles d'eucalyptus de différents âges. Dans chacune des parcelles, le dénombrement des végétaux et le prélèvement a été réalisé dans trois placettes de 9 m² (3m x 3m). Dans chaque placette, un trou de section circulaire de 100 m de profondeur a été creusé et les échantillons de sols prélevés à trois profondeurs (20 cm, 50 cm et 100 cm). Il ressort de cette étude que la teneur en eau du sol décroît avec la profondeur du sol et l'âge de la plantation. Par rapport à la parcelle témoin, il n'y a pas un assèchement significatif du sol par *Eucalyptus saligna*. Un total de 1593 individus a été recensé, regroupé en 21 familles et 55 espèces. Les familles les mieux représentées en nombre d'espèces sont les Fabaceae, les Asteraceae et les Poaceae. Les espèces herbacées sont largement prédominantes (94% des individus). Cette étude montre que *Eucalyptus Saligna* n'a pas significativement impacté de façon négative la teneur en eau du sol et la composition floristique du sous-bois.

MOTS-CLEFS: allélopathie, biodiversité, humidité du sol, Ouest Cameroun, sous-bois.

1 INTRODUCTION

La déforestation est une grande menace pour les écosystèmes forestiers tropicaux. Dans le bassin du Congo, le taux de déforestation est passé de 0,13 % dans la période 1990 à 2000 à 0,26 % dans la période 2000 à 2005 [1]. Au Cameroun, l'augmentation de la pression démographique entraîne une demande accrue en produits agricoles et en bois prélevés au détriment du couvert forestier [2]. Pendant que les forêts naturelles tropicales diminuent, les plantations d'arbres sont devenues nécessaires pour satisfaire la demande croissante en produits forestiers, principalement du bois d'œuvre, de service et de feu. L'Eucalyptus est originaire d'Australie où elle constitue 90% des arbres des forêts naturelles [3]. Les plantations d'eucalyptus connaissent un développement considérable dans le monde. Ses bonnes performances de croissance et sa plasticité ont contribué à l'introduire massivement dans de nombreux pays [4]. Avec les pins, les eucalyptus recouvrent 30% des plantations forestières mondiales [5].

Depuis les années 1920, près d'une vingtaine d'espèces d'Eucalyptus ont été introduites au Cameroun. Les premières introductions avaient pour objectif d'assainir les terrains marécageux de la région du Littoral [6]. Pour reconstituer le couvert forestier détruit, l'Etat colonial a créé à partir des années 1930 des réserves forestières, avec dans certaines d'entre elles des périmètres de reboisement sur des parties de terrains nus ou insuffisamment boisés. Les Eucalyptus ont été majoritairement utilisés pour le reboisement des réserves forestières de l'Ouest. L'espèce qui s'est le plus adaptée est *Eucalyptus saligna* Smith. Cette espèce a largement été adoptée par les paysans qui ont fini par forger leur propre itinéraire technique [7]. L'adoption de cette espèce dans la région est due à sa rusticité, sa croissance rapide, sa capacité de rejet, sa résistance au feu et ses usages multiples : bois de feu, perches, poteaux, sciages et pharmacopée [6]; [8]. La région de l'Ouest constitue une zone de production et de ravitaillement en perches, bois de chauffe et de service pour les autres villes avoisinantes, voire d'autres pays. Alors que des voix s'élèvent pour décrier l'eucalyptus, l'engouement des populations de la région va grandissant. Le paysan, motivé surtout par des raisons économiques n'arrive toujours pas à trouver une essence de remplacement réunissant les mêmes caractéristiques [9]. De même, la majorité des planteurs d'eucalyptus des hautes terres de l'Ouest-Cameroun ne perçoit pas l'effet appauvrissant et desséchant du sol des eucalyptus [8], [10].

En effet, le développement rapide des plantations d'eucalyptus à travers le monde a suscité de nombreuses controverses. On leur reproche leurs forts besoins hydriques et l'assèchement des nappes phréatiques, l'appauvrissement des sols, la suppression de la végétation de sous-bois favorisant l'érosion et la réduction de la biodiversité. [11] et [12] assimilent les plantations d'eucalyptus à un désert biologique. [13] a signalé que dans les plantations d'eucalyptus, l'horizon de surface est plus sec en raison de la densité des racines. [14] et [15] ont mentionné le développement d'une couche hydrophobe de surface. L'allélopathie est souvent évoquée comme un effet écologique des eucalyptus. Ainsi, pour [16], les eucalyptus produisent des allélopathes qui sont volatilisés dans l'atmosphère et qui atteignent les plantes cibles sous forme de brouillard ou sous forme d'aérosols. [17] signale également que les feuilles sur les arbres et la litière au sol des plantations d'eucalyptus renferment des acides phénoliques, des tannins et des flavonoïdes phytotoxiques. Cependant [18] mentionne que les plantations d'eucalyptus du Congo, laissées à l'abandon ont rapidement été envahies par un sous-bois abondant. Pour [19], la plupart des impacts négatifs de l'eucalyptus seraient surtout le résultat des erreurs de sylviculture, notamment dans le choix des espèces et des techniques culturales : trop forte densité, rotations de taillis trop courtes, récolte de toutes les parties de l'arbre, y compris les brindilles, empêchant ainsi un apport de matière organique. [20] suggère que l'évaluation de la biodiversité dans les plantations d'eucalyptus soit envisagée selon trois principaux niveaux d'organisation emboîtés : la parcelle, le paysage environnant et de la région.

Dans la région de l'ouest Cameroun, les études sur les effets écologiques de l'eucalyptus se sont le plus souvent limitées à l'impact des plantations sur la fertilité du sol en abordant la dynamique des éléments minéraux du sol [21], [9]. Les impacts sur la biodiversité floristique et la teneur en eau du sol n'ont pas été encore réellement étudiés. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer, à l'échelle de la parcelle la teneur en eau du sol et la diversité floristique du sous-bois des peuplements d'*Eucalyptus saligna* dans les conditions écologiques de la région de l'Ouest Cameroun.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE DE L'ETUDE

L'étude s'est déroulée dans la réserve forestière de Baleng au Cameroun, dans la région de l'Ouest, département de la Mifi (Figure 1). Cette réserve d'une superficie de 309 hectares a été créée en 1934 et est située entre les coordonnées 5° 33' et 5° 34' N et entre 10° 24 et 10° 25' E.

Le climat est équatorial, de type «camerounien de montagne» avec 4 mois de saison sèche [22]. Les précipitations s'élèvent en moyenne à 1700 mm par an et sont réparties en deux saisons : une saison pluvieuse (de mi-mars à mi-novembre) et une

saison sèche qui va de mi-novembre à mi-mars. La température moyenne est de 20°C. C'est une zone de haute altitude et de hauts plateaux avec des altitudes atteignant 1800 m. La réserve de Baleng est drainée par un réseau hydrographique peu dense et comprend quelques ruisseaux et le lac Baleng. Les sols sont en général ferralitiques, dérivés du socle basaltique. Leur fertilité dépend de l'épaisseur et de la richesse de l'horizon humifère. Leurs propriétés physiques et hydriques sont très favorables avec une grande épaisseur et une porosité élevée assurant une bonne aération et une forte teneur en argile permettant une rétention d'eau correcte et une perméabilité de la surface réduisant l'érosion.

La végétation de la région est du type savane humide d'altitude appartenant au secteur guinéo-soudanien des savanes périforestières. Cette savane est boisée et entrecoupée de forêts galerie. La réserve de Baleng a été reboisée par les services forestiers en majorité par *Eucalyptus saligna*. On y retrouve des parcelles de différents âges.

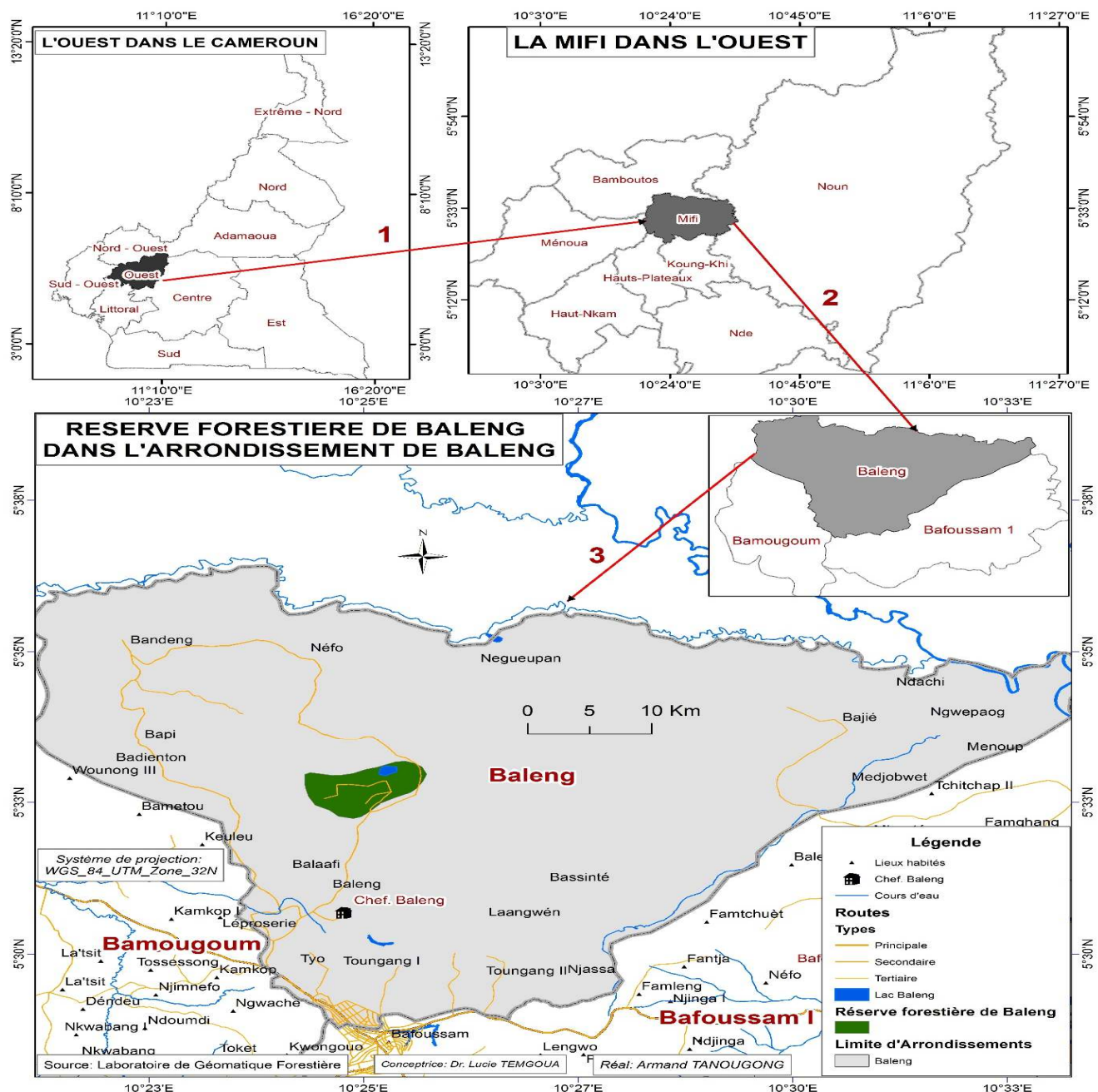


Fig. 1. Localisation de la réserve forestière de Baleng dans la région de l'Ouest Cameroun

Fig. 2.

2.2 METHODES

Le dispositif d'étude compte quatre parcelles d'*Eucalyptus saligna* d'âges différents : 7 ans (Euca 7), 15 ans (Euca 15), 27 ans (Euca 27) et 35 ans (Euca 35) et une parcelle indemne d'eucalyptus faisant office de témoin (Euca 0), soit au total cinq parcelles. La densité de plantation était identique pour toutes les parcelles avec eucalyptus (2,5m x 2,5m). Dans chacune des cinq parcelles trois placettes de 9 m² (3m x 3m) destinée au dénombrement des végétaux ligneux ont été tirées successivement au hasard. Au centre de chaque placette était délimité un carré d'un mètre carré (1m x 1m) dédié au dénombrement total des plantes herbacées. Cette démarche a permis de matérialiser quinze placettes incluant trois placettes témoins sur l'ensemble du site d'étude.

Le choix des placettes a été réalisé en tirant successivement au hasard et sans remise, trois numéros dans un lot de papillons constitué en divisant la superficie totale de la parcelle concernée par celle d'une placette (9 m²). Pour éviter l'effet lisière, les numéros correspondant aux placettes contigües à la lisière étaient exclus du site de l'étude. L'étude a été réalisée en saison de pluie.

2.2.1 EVALUATION DE LA TENEUR EN EAU DU SOL

L'évaluation de la teneur en eau renvoie à la détermination du degré d'hygroscopie du sol. Dans chaque placette, un trou de section circulaire de 100 m de profondeur a été creusé pour le prélèvement des échantillons de sol. Pour les quinze placettes, 45 échantillons de sols ont été prélevés à trois profondeurs (2 cm, 5 cm et 100 cm). Les analyses ont été réalisées au Laboratoire. La méthode gravimétrique a été utilisée. Cette méthode a nécessité que les échantillons de terre soient mis à l'étuve, puis portés à 105 degrés ; ce qui entraîne une disparition des substances volatiles. La teneur en eau de chaque échantillon découle de deux pesées, dont une avant, et l'autre après séchage d'une masse de terre constante à 105°C. La différence de masse entre ces deux pesées représente la masse d'eau dans l'échantillon.

$$\% \text{ Humidité} = \frac{Msol \text{ frais} - Msol \text{ sec}}{Msol \text{ frais}} \times 100 \quad (1)$$

Avec Msol= Masse du sol

2.2.2 EVALUATION DE LA COMPOSITION FLORISTIQUE DU SOUS-BOIS

Cette évaluation a consisté en un inventaire des espèces végétales rencontrées dans chacune des parcelles plantées et témoins. La collecte s'est faite dans des placettes carrées de 3m x 3m. La diversité floristique du sous-bois a été abordée à travers l'évaluation de la richesse spécifique, de l'indice de Shannon, de l'indice d'équitabilité de Pielou et de l'indice de similitude de Jaccard.

La richesse spécifique (RS) est le nombre moyen d'espèces par unité de surface dans les différentes parcelles. La moyenne de chaque milieu étant calculée grâce à la richesse spécifique de chaque relevé qui correspond ici aux placettes de comptage.

L'indice de diversité de Shannon permet de mesurer les possibilités d'interaction entre les espèces qui composent une communauté. Cet indice varie à la fois en fonction du nombre d'espèces présentes et en fonction de la proportion relative du recouvrement des diverses espèces [23].

$$H' = - \sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N) \quad (2)$$

H' étant l'indice de Shannon ; n_i, le nombre d'individus d'une espèce i ; N, le nombre total d'individus de toutes les espèces.

L'indice d'équitabilité de Pielou exprime la régularité, la répartition équitable des espèces au sein d'une communauté.

H' étant l'indice de Shannon ; n_i, le nombre d'individus d'une espèce i ; N, le nombre total d'individus de toutes les espèces.

L'indice d'équitabilité de Pielou exprime la régularité, la répartition équitable des espèces au sein d'une communauté.

$$E = H' / \log_2 S \quad (3)$$

S étant le nombre total d'espèces relevées et H', l'indice de Shannon.

Cet indice qui varie de 0 à 1 est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement [23].

L'indice de similitude de Jaccard ou Coefficient de Jaccard (J) permet de connaître la sociabilité des espèces, c'est-à-dire, savoir si des espèces ou groupes d'espèces se retrouvent toujours ensemble dans les systèmes écologiques différents. La similitude de deux parcelles ou sites est basée sur la présence ou l'absence de certaines espèces dans les relevés floristiques de ces sites [24].

$$J(\%) = (100 \times a) / (a+b+c) \quad (4)$$

a = nombre d'espèces communes entre les deux relevés floristiques

b = nombre d'espèces présentes dans le site 1 et absentes dans le site 2

c = nombre d'espèces présentes dans le site 2 et absentes dans le site 1

2.3 ANALYSES STATISTIQUES

Le logiciel Excel a été utilisé pour le calcul des indices de diversité. Les paramètres de richesse spécifique et les indices de diversités ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel R 3.1.1 et lorsque les différences étaient significatives entre les traitements, les moyennes étaient séparées par le test de Tukey au seuil de 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 TENEUR EN EAU DU SOL DANS LES PLANTATIONS D'EUCALYPTUS

Les teneurs moyennes en eau du sol varient entre $9,3 \pm 0,2$ % dans la parcelle âgée de 35 ans à $14 \pm 0,8$ % dans la parcelle âgée de 27 ans. La parcelle témoin quant à elle, affiche une moyenne de $13,1 \pm 1,1$ % (tableau I).

Tableau 1. Teneurs moyennes en eau (%) du sol à différentes profondeurs et à différents âges

Parcelles	Moyennes (âge)	Profondeurs		
		20 cm	50 cm	100 cm
Témoin	$13,1 \pm 1,1ab$	$14,3 \pm 0,2$	$12,9 \pm 2,3$	$12,1 \pm 1,2$
Euca 7	$11,9 \pm 0,8ab$	$12,5 \pm 0,6$	$12,2 \pm 4,6$	$11,1 \pm 3,6$
Euca 15	$11,3 \pm 2,9ab$	$12,2 \pm 2,7$	$13,5 \pm 5,7$	$8 \pm 2,3$
Euca 27	$14 \pm 0,8a$	$14,5 \pm 0,3$	13 ± 5	$14,5 \pm 0,3$
Euca 35	$9,3 \pm 0,2b$	$9,3 \pm 3,2$	$9,1 \pm 3$	$9,5 \pm 3,4$
Moyennes (profondeur)		$12,6 \pm 2,1a$	$12,1 \pm 1,8a$	$11 \pm 2,5a$

Les moyennes ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

La teneur en eau tend à diminuer avec la profondeur, bien que la différence ne soit pas significative au seuil de 5%. Elle est passée de $12,6 \pm 2,1$ % à $12,1 \pm 1,8$ % puis à $11 \pm 2,5$ % respectivement pour les profondeurs 20 cm, 50 cm et 100 cm. La même tendance a été observée pour l'âge de la plantation. Toutefois la parcelle de 27 ans déroge à cette dégression. Pour ce qui est de la variable âge de la plantation, il existe une différence significative entre les teneurs en eau du sol des peuplements de parcelle âgée de 27 ans et celles de 35 ans.

Pour la relation entre la profondeur et l'âge, l'analyse de variance a montré qu'au seuil de 5%, la teneur en eau du sol des parcelles ne varie pas en fonction de l'âge quelle que soit la profondeur de prélèvement considéré. Avec une teneur moyenne en eau de $9,3 \pm 0,2$ %, la parcelle âgée de 35 ans tend à être celle dont le sol regorge le moins d'humidité.

3.2 COMPOSITION FLORISTIQUE ET RICHESSE SPÉCIFIQUE DES PARCELLES

Dans les relevés un total de 1593 individus, regroupés en 55 espèces et appartenant à 23 familles botaniques ont été recensés. Les espèces les plus rencontrées sont *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv., *Dymaria cordata* (L.) Wild, *Ageratum conyzoides* (L.), *Polygala persicariifolia* Dc. Douze espèces (figure 2) représentent à elles seules 77% des individus recensés.

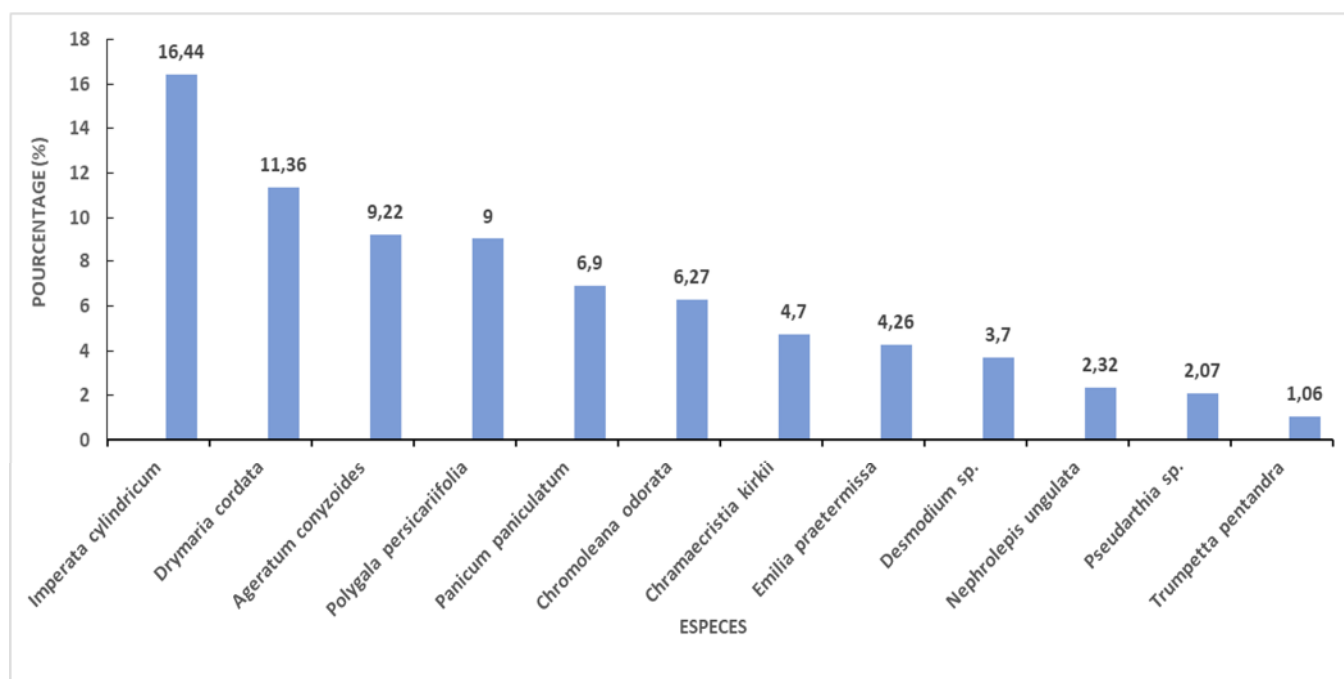


Fig. 3. Proportions des douze espèces les plus représentées dans les relevés (>1%)

Les trois familles botaniques les mieux représentées en nombre d'espèces sont les Fabaceae (21% des espèces), Asteraceae (20%) et Poaceae (16%). Mais en ce qui concerne le nombre d'individus c'est la famille des Poaceae qui est en tête avec 36% des individus, suivie des Asteraceae (21%) et des Caryophyllaceae (11%). Quatorze (14) familles y sont très faiblement représentées avec moins de 1% d'individus (figure 3).

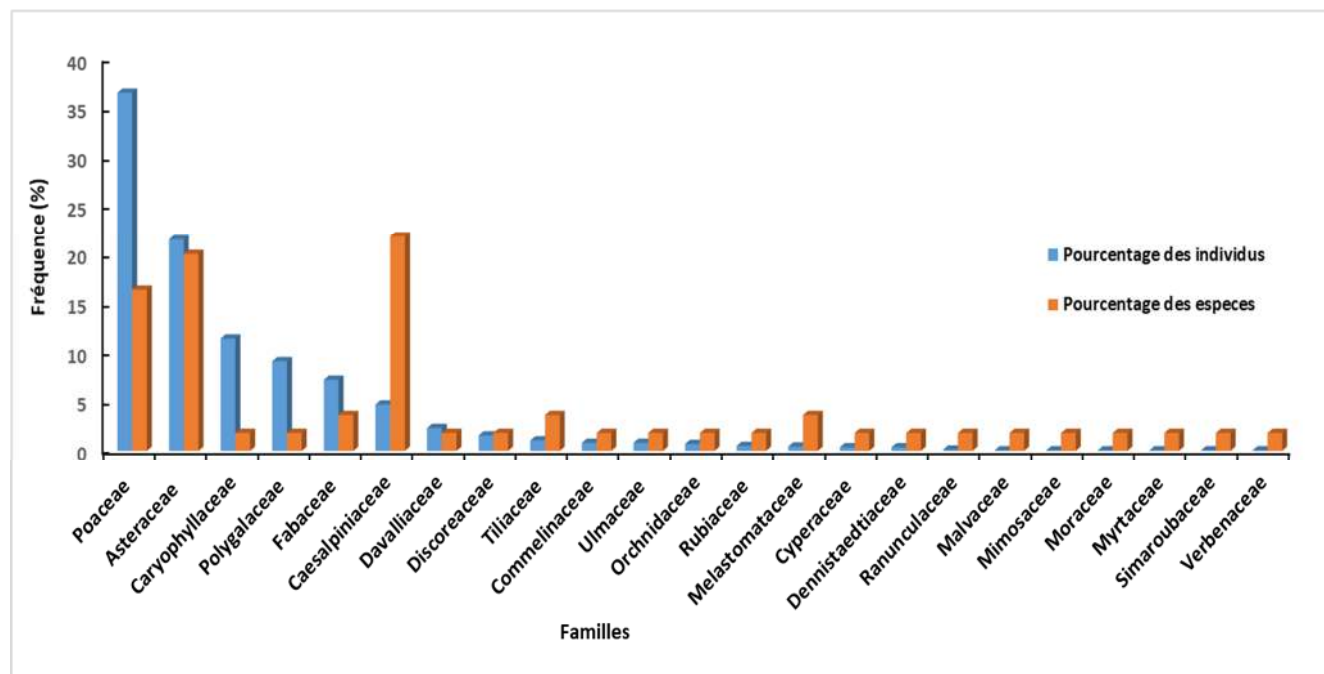


Fig. 4. Représentativité des individus et des espèces par familles

Le tableau 2 présente la richesse spécifique dans les parcelles d'Eucalyptus.

Tableau 2. Richesse spécifique des parcelles et indices de diversité

Parcelles	Nombre d'espèces	Nombre de placettes	Moyenne espèces/placettes	Indice de diversité de Shannon	Equitabilité de Pielou
Euca 0	25	3	8,3±1,5ab	1,8±0,20a	0,58±0,10a
Euca 7	35	3	11,7±4a	1,6±0,10a	0,38±0,15ab
Euca 15	36	3	12±3,5a	1,5±0,10a	0,30±0,10b
Euca 27	23	3	7,7±0,6ab	1,4±0,30ab	0,36±0,20ab
Euca 35	22	3	7,3±1,5ab	0,8±0,40b	0,16±0,12b

Les moyennes marquées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%

Entre 7 ans et 15 ans la richesse spécifique est croissante. On note une chute du nombre moyen d'espèces sous les eucalyptus entre les parcelles Euca 15 et Euca 35 passant de 12±3,5 à 7,3±1,5. La baisse de l'éclairement incident dans le sous-bois induit par l'accroissement de la densité relative du couvert pourrait être à l'origine d'une telle variation. D'autre part, on se rend compte que la présence d'*Eucalyptus saligna* crée des conditions favorables à un enrichissement en espèces végétales. Ainsi, on est passé de 8,3 ± 1,5 espèces par unité de surface (placette) dans la parcelle témoin sans eucalyptus (Euca 0) à 12±3,5 espèces dans la parcelle Euca 15. La richesse spécifique a tendance à être moins élevée dans la parcelle Euca 35. Toutefois, l'analyse de la variance révèle qu'elle n'est pas significativement influencée par l'âge du peuplement au seuil de 5%.

L'indice de Shannon diminue avec l'âge de la parcelle, il varie de 0,8±0,4 à 1,8 ±0,2 correspondant respectivement aux parcelles Euca 35 et la parcelle témoin (Euca 0). Ces indices sont relativement faibles, traduisant une faible diversité des espèces. L'analyse de la variance montre que ces différences sont significatives au seuil de 5%. Le test de Tukey permet de montrer que la parcelle Euca 35 est significativement différentes des parcelles Euca 0, Euca 7 et Euca 15 mais n'est pas significativement différente de Euca 27.

L'équirépartition des espèces est faible dans les différentes parcelles d'eucalyptus (< 0,5), elle varie de 0,16 à 0,58. Ces valeurs s'expliquent par la présence dans chaque parcelle de quelques espèces prédominantes. La parcelle Euca 35 présente la valeur la plus faible (0,16±0,12) du fait de la présence d'une espèce particulièrement abondante : *Polygala persicariifolia* Dc. L'analyse de la variance montre que la répartition des espèces est significativement différente entre les parcelles de différents âges au seuil de 5%. En effet, la parcelle témoin Euca 0 ne présente pas la même répartition qu'Euca 35 et Euca 15, contrairement aux parcelles Euca 7 et Euca 27 avec qui elle présente statistiquement le même modèle de répartition des espèces. Les indices de similitude de Jaccard sont présentés par la figure 4.

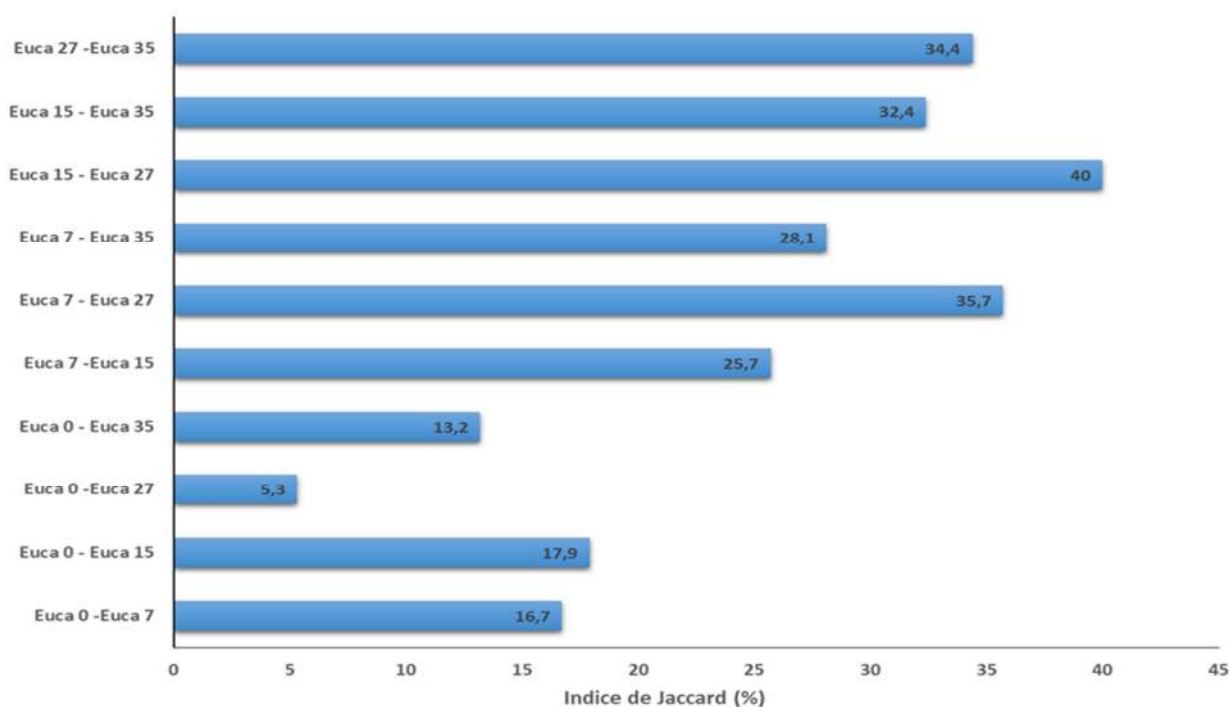


Fig. 5. Indices de similitude de Jaccard entre les différentes parcelles

Les indices de similitude de Jaccard entre le témoin (Euca 0) et les autres parcelles varient de 5,3% à 17,9%. C'est à dire que Euca 0 est la parcelle qui présente le moins d'espèces communes avec les autres parcelles. Par contre, les parcelles d'eucalyptus ont plus d'espèces communes entre elles ($J > 25\%$). L'indice de Jaccard est le plus élevé entre les parcelles Euca 27 et Euca 15 qui ont en commun 40% de leurs espèces. Neuf (9) espèces apparaissent uniquement dans la parcelle témoin et appartiennent aux familles suivantes : Verbenaceae (*Lippia adoensis* Hochst. ex Walp.), Poaceae (*Melinis* sp.), Ranunculaceae (*Clematis hirsuta* Guill. Et Perr), Orchidaceae (*Habenaria alimae* Szlochetho), Melastomaceae (*Dissotis brazzae* Cogn.), Fabaceae (*Pseudarthria hookeri* Wight Arn., et *Rhynchosia alatipes*). Par contre, 33 espèces apparaissent uniquement dans les parcelles d'eucalyptus tout âge confondu et ne sont pas présentes dans la parcelle témoin tandis que treize (13) espèces apparaissent indifféremment dans les parcelles témoins et d'Eucalyptus quel que soit l'âge.

3.3 TYPE MORPHOLOGIQUE ET DYNAMIQUE DU SOUS-BOIS

La dynamique du sous-bois est calquée sur le rythme de saison avec un épais tapis herbacé sous les peuplements en saison pluvieuse et un sous-bois clair en saison sèche à la faveur du passage des feux de brousse. Le tableau 3 montre une prédominance des espèces herbacées avec une moyenne de 94,17 %. Les arbustes et les arbres sont très faiblement représentés.

Tableau 3. Types morphologiques des parcelles de différents âges

Parcelles	Types morphologiques (%)		
	Herbacées	Arbustes	Arbres
Témoin (Euca 0)	100,00	0,00	0,00
Euca 7	95,00	5,00	0,00
Euca 15	91,67	0,00	8,33
Euca 27	88,90	5,55	5,55
Euca 35	95,23	4,77	0,00
Moyenne	94,17	3,06	2,77

4 DISCUSSION

4.1 TENEUR EN EAU DU SOL

La teneur en eau tend à diminuer avec la profondeur du sol, bien que la différence ne soit pas significative au seuil de 5%. Ceci peut s'expliquer par l'augmentation de la consommation d'eau par l'eucalyptus avec l'âge. Ces résultats corroborent celui de [25] qui a rapporté que la consommation en eau des eucalyptus augmente avec l'âge. [25]) précise également que l'effet de l'eucalyptus sur les réserves en eau commence à s'exprimer 4 à 6 ans après la plantation. Toutefois, cette consommation en eau des eucalyptus dans le cas de notre site d'étude ne serait pas de nature à compromettre le développement des plantes annuelles. En effet, sous la parcelle Euca 7, a été identifiée une espèce indicatrice d'humidité (*Pteridium aquilinum*). La présence de cette espèce témoigne d'une bonne alimentation en eau sous les parcelles d'eucalyptus dans la réserve de Baleng.

La tendance de diminution de la teneur en eau avec la profondeur du sol observée à Baleng est contraire à celle présentée par [13] qui ont rapporté que l'horizon de surface est plus sec en raison de la densité racinaire ou encore aux résultats de [14] et [15] qui mentionnent la présence d'une couche hydrophobe de surface. Cette tendance contraire pourrait se justifier par le passage régulier des feux de brousse qui améliore la porosité du sol en éliminant la litière du sous-bois responsable de l'humectation difficile du sol. Le fait que la teneur en eau ait tendance à être plus élevée en surface montre que la présence d'*Eucalyptus saligna* ne nuit pas au développement des cultures annuelles. En effet, la plupart des cultures annuelles ont un enracinement peu profond qui leur permet d'explorer uniquement les horizons superficiels du sol, tandis que les racines des eucalyptus se situent plus loin, au moins entre 1,5 et 2m de profondeur.

4.2 RICHESSE ET DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE

La moyenne du nombre d'espèces par parcelle varie entre 7,3 et 12,3. Toutefois, l'analyse de la variance révèle qu'elle n'est pas significativement influencée par l'âge du peuplement et qu'il n'y a pas non plus de différence significative entre la parcelle témoin et les parcelles d'eucalyptus. Ces résultats sont en opposition au faible niveau de biodiversité en plantation décrit par [26]. Nos résultats corroborent ceux de [20] qui disent que les plantations d'eucalyptus réalisées sur des savanes herbeuses régulièrement parcourues par des feux concourent généralement à accroître la biodiversité. *Eucalyptus saligna* peut donc jouer

un rôle important dans la conservation de la biodiversité et la restauration des espèces comme l'ont également montré certains auteurs [27]-[29].

L'indice de Shannon et l'équidistribution de Pielou dans les parcelles témoins et les parcelles d'Eucalyptus, traduisant une faible diversité dans la zone d'étude en général. Ceci s'explique par la présence dans chaque parcelle de quelques espèces prédominantes. De manière générale la prédominance des certaines espèces telles que *Imperata cylindrica*, *Panicum paniculatum*, *Dymaria cordata* et *Ageratum conyzoides* observée dans les relevés des parcelles d'Eucalyptus pourrait s'expliquer par la perturbation due aux feux de brousse récurrents défavorisant l'épanouissement des espèces les moins adaptées à ces derniers. Ce résultat est conforme à ce qu'indique [30] lorsqu'il dit que les écosystèmes qui ont atteint un niveau de maturité et qui ne sont pas soumis à des contraintes perturbatrices ont une équitabilité élevée, de l'ordre de 0,6 à 0,8. Les écosystèmes qui sont dans un état transitoire ou qui sont soumis à un stress ont une équitabilité faible, c'est-à-dire inférieure à 0,6. Ainsi nous pouvons dire que le site d'étude est dans un état transitoire au regard de l'indice d'équitabilité qui est inférieur à 0,6.

Les parcelles présentent dans l'ensemble un pourcentage d'espèces communes inférieur à 50%. Ce résultat met en exergue la présence des espèces communes et exclusives aux parcelles, la parcelle témoin ayant le plus faible niveau de ressemblance avec les autres parcelles. Il est possible d'attribuer ces différences observées à l'Eucalyptus. Ce résultat montre un renforcement en espèces de sous-bois dans les parcelles d'eucalyptus comparativement au témoin qui est un milieu ouvert. Ceci est conforme aux résultats de [31] selon lesquels sous des peuplements denses d'eucalyptus des régions semi-arides, le sous-étage disparaît tandis que, dans des conditions d'humidité favorables, il peut s'en trouver renforcer.

4.3 REFLET ALLÉLOPATHIQUE D'EUCALYPTUS SALIGNA

Neuf (9) espèces apparaissant uniquement dans la parcelle témoin ont été recensées, Il faudrait poursuivre des études dans ce groupe de familles pour comprendre les raisons qui justifieraient l'absence de ces espèces sous les peuplements d'Eucalyptus. Par contre, 33 espèces apparaissent uniquement dans les parcelles d'eucalyptus tout âge confondu et ne sont pas présentes dans la parcelle témoin tandis que treize (13) espèces apparaissent indifféremment dans les parcelles témoins et d'Eucalyptus quel que soit l'âge. Ces deux groupes d'espèces offrent deux alternatives d'interprétations que sont : la tolérance aux allélopathes de l'eucalyptus ou l'absence d'effets allélopathiques dans cette zone. En effet, la réserve forestière de Baleng reçoit environ 1800 mm d'eau par an, une pluviométrie supérieure au seuil de 1200 mm de précipitations que [32] recommande pour une association sans précaution d'eucalyptus aux cultures agricoles. Ce niveau de précipitations entraînerait les éléments toxiques par lessivage hors de la rhizosphère [33] ce qui aurait permis le développement sans aucune difficulté des différentes espèces. Ainsi nous pouvons dire que le caractère allélopathique des eucalyptus est mitigé dans notre site d'étude, les conditions de pluviométrie étant favorables.

4.4 DYNAMIQUE DU SOUS-BOIS

La densité élevée des herbacées dans le sous-bois serait favorisée par un rayonnement incident satisfaisant. Ceci corrobore les observations de [20] qui notent que le manque de lumière n'apparaît pas comme un frein direct au développement d'un sous-bois des plantations d'eucalyptus car ces plantations sont peu fermées du fait de la silhouette élancée des arbres. La forte densité d'espèces herbacées peut également s'expliquer par le passage répétitif des feux de brousse qui restituent au sol d'importantes quantités d'éléments minéraux provenant de la pyrolyse de la litière. C'est le cas des Polygalaceae qui poussent après le passage des feux et semblent bien apprécier ces conditions. Aussi *Imperata cylindrica* et *Pennisetum purpureum* bénéficient également d'une meilleure fertilité du sol et/ou de la disponibilité en eau sous le couvert ligneux.

La faible proportion des arbustes et des arbres ici ne serait pas due au seul développement d'un tapis graminéen qui peut bloquer le développement d'espèces arborescentes, mais aussi à l'absence à proximité de sources de semences à l'échelle paysagère. La végétation des alentours des parcelles d'eucalyptus est pauvre en ces espèces arborescentes. La parcelle témoin ne contient pas non plus d'espèces arborescentes. Cette étude s'est limitée à une évaluation au niveau de la parcelle, et n'a pas tenu compte du paysage environnant et de la région comme l'ont suggéré [20] pour une évaluation de la biodiversité des plantations d'Eucalyptus. Il serait donc nécessaire d'envisager une étude à l'échelle de toute la région de l'ouest Cameroun.

5 CONCLUSION

Cette étude montre qu'il n'y a pas un assèchement significatif du sol par *Eucalyptus saligna*. Le sous-bois des parcelles d'eucalyptus n'est pas vide de végétation et ne présente pas non plus une diversité floristique inférieure au témoin. Les espèces recensées sont majoritairement des espèces annuelles, ceci signifierait que la conduite des cultures annuelles sous les peuplements d'Eucalyptus est possible. Quant au reflet allélopathique, sur les 22 espèces observées dans la parcelle témoin,

neuf sont complètement absentes dans les parcelles d'*Eucalyptus saligna*. A l'inverse, trente-trois espèces apparaissent dans les parcelles d'eucalyptus et sont absentes dans la parcelle témoin. Il est donc difficile de conclure si l'allélopathie joue sur la diversité de la végétation du sous-bois des eucalyptus. Les influences négatives sur la diversité floristique tant décrites n'ont pas été observées à l'échelle de la parcelle. Il serait cependant nécessaire d'envisager une étude à l'échelle de toute la Région de l'Ouest Cameroun.

REFERENCES

- [1] C. Ernst, P. Mayaux, A. Verhegghen, C. Bodart, C. Musampa and P. Defourny, National forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005. *Global Change Biology*, vol. 19, no. 4, pp. 1173-1189, 2013.
- [2] P. Gillet, C. Vermeulen, L. Feintrenie, H. Dessard and C. Garcia, Quelles sont les causes de la déforestation dans le bassin du Congo ? Synthèse bibliographique et études de cas. *Biotechnologie Agronomie, Société Environnement*, vol. 20, no. 2, pp. 183-194, 2016.
- [3] Lemarchand, Les marsupiaux arboricoles folivores et l'eucalyptus : un exemple d'adaptation aux défenses anti-herbivores des plantes. Thèse de master, Université de Toulouse 3, 2008.
- [4] Bassou, Impact sur la biodiversité floristique des plantations d'eucalyptus : une étude de cas dans le Lauragais. Rapport de Stage. AFOCEL, 2003.
- [5] FAO, Global Forest Resources Assessment 2005. Rome, Italie, Fao, 2005.
- [6] J.N. Fonweban and F. Houllier, Eucalyptus saligna au Cameroun. Tarif de peuplement et modèle de production. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 25, pp. 21-36, 1997.
- [7] L. Temgoua, R. Njoukam and R. Peltier, Plantations ingénieuses de bois d'œuvre par les paysans de l'Ouest-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 309, pp. 63-76, 2011.
- [8] R. Njoukam, L. Temgoua and R. Peltier, Dans l'Ouest-Cameroun les paysans ont conservé les arbres dans leurs champs tandis que l'Etat laissait brûler ses réserves. *Proceedings of the International conference on traditional forest knowledge and sustainable forest management in Africa*, Accra, Ghana 15-17 October 2008.
- [9] P. Tchawa and M. Tsayem Demaze, Gestion des effets écologique de l'eucalyptus en pays Bamiléké (Ouest Cameroun). Stratégie paysanne et prise en compte d'un risque perçu. *Les Cahiers d'Outre-mer*, no. 218, pp. 175-196, 2002.
- [10] Temgoua, Déterminants socio-économiques et écologiques des plantations de bois d'œuvre et d'artisanat dans l'ouest Cameroun. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2011.
- [11] Poore and C. Fries, *Les effets écologiques des eucalyptus*. Etude FAO, Rome, 1985.
- [12] Sunder S. S., *The ecological, economic and social effects of Eucalyptus*. In: K. White., J. Ball and M. Kashio M. (Eds). *Proceedings of the Regional expert consultation on Eucalyptus*, 4-8 October 1993. Bangkok, Thailand, 1995.
- [13] Nguyen and B. Chaste, *Eucalyptus et environnement*. AFOCEL. Information forêt n°1, Fiche 725, AFOCEL, 2006.
- [14] D. F. Scoot, The influence of eucalyptus on soil wettability. *Proceedings of IUFRO conference Intensive Forestry: the role of eucalyptus*. Durban 2-6 September 1991. 1044-1056, 1991.
- [15] Davidson, Ecological aspects of eucalyptus plantations. In: K. White., J. Ball and M. Kashio M. (Eds). *Proceedings of the Regional expert consultation on Eucalyptus*, 4-8 October 1993. Bangkok, Thailand, 1995.
- [16] C. Gallet and F. Pellissier, Interactions allélopathiques en milieu forestier. *Revue Forestière Française*, vol. 54, no. 6, pp. 567-576, 2002.
- [17] J.-J. Loumeto and F. Bernhard-Reversat, La biodiversité dans les plantations d'arbres à croissance rapide au Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 253, pp. 57-61, 1997.
- [18] B. Martin, L'eucalyptus : un arbre forestier stratégique. *Revue Forestière Française*, vol. 55, no. 2, pp. 141-154, 2003.
- [19] FAO, *Les Eucalyptus dans les boisements*. FAO. Rome, Italie, 1982.
- [20] J. Tassin, A. P. Missamba-Lola and J. N. MarienTASSIN J, Biodiversité des plantations d'eucalyptus. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 309, pp. 27-35, 2011.
- [21] R. Njoukam, L. Bock, L. Mathieu and R. Peltier, Ligniculture et fertilité des sols dans l'Ouest-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 249, pp. 33-49, 1996.
- [22] Letouzey, *Etude phytogéographique du Cameroun*. Paris, France, Lechevalier, 1968.
- [23] Soumana, Outil d'évaluation de la diversité alpha d'un pâturage au Sahel. Amélioration de la production fourragère en zone tropicale. Fiche technique no 1. Institut National de la recherche Agronomique du Niger, 2012.
- [24] L. Legendre and P. Legendre., *Ecologie Numérique, Tome 1: Le traitement multiple des données écologiques*. Deuxième édition. Paris. Masson, 1984.
- [25] Zaongo, R. J. Ndayambaje, R. Gapusi, A. Murwanashyaka, J. C. Mutaganda and G. Bamba, Problématique de l'Eucalyptus au Rwanda: revue, évaluation et recommandations, 2004.

- [26] J. Barlow, T. A. Gardner, J. S. Arujo, T. C. Avila-Pires, A. B. Bonaldo and J. F. Costa, Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy Sciences USA*, vol. 104, no. 47, pp. 8555-18560, 2007.
- [27] D. Cusack and F. Montagnini, The role of native species plantations in recovery of understory woody diversity in degraded pasturelands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, vol. 188, pp. 1-15, 2004.
- [28] J.-M. Carnus, J. Parrota, E. G. Brockerhoff, M. Arbez, H. Jactel, A. Kremer, D. Lamba, K. O'HARA and B. Walters, Planted forests and biodiversity. *Journal of Forestry*, vol. 104, no. 2, pp. 65-77, 2006.
- [29] E. G. Brockerhoff, H. Jactel H., J. Parrota J., C. P. Quine and J. Sayer, Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, vol. 17, pp. 925-951, 2008.
- [30] Sonke, Etudes floristiques et structurales des forêts de la réserve de faune du Dja (Cameroun). Thèse de doctorat, Université libre de Bruxelles, 1998.
- [31] P. Soni and H. B. Vasistha, Understory vegetation in eucalyptus plantation a review. *Journal of Topical Forestry*, vol. 7, pp. 15-26, 1991.
- [32] FAO, Proceedings of the Regional expert consultation on Eucalyptus, 4-8 October 1993. Volume I. Bangkok, Thailand, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 1995.
- [33] R. Del Moral and C. H. Muller, The allelopathic effect of *Eucalyptus camaldulensis*. *American Midland Naturalist*, no. 83, pp. 254-282, 1970.

Peuplement et diversité biologique des crevettes du cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire)

[Shrimp assemblage in the superior part of Cavally river (Côte d'Ivoire)]

Toto Kouamé¹, Gouli Gooré Bi¹, Claver Kémomadjèhi Djiriéoulou², Gervais Konan N'Zi¹, and Dit Hervis Franck Gnonleba Boguhé¹

¹Laboratoire d'Hydrobiologie,
Université Félix Houphouët-Boigny,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

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

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to determine ecology and diversity of shrimps communities in the superior part of Cavally (Côte d'Ivoire, West Africa). Sampling was conducted monthly from september 2015 august 2016 using a handled net and lobster pots. Overall, five species were captured: *Macrobrachium dux*, *M. felicinum*, *M. macrobrachion*, *M. vollenhovenii* and *M. Thysi* (Palaemonidae). *Macrobrachium vollenhovenii* was largest distributed with 100 % of occurrence and 42, 37 % of abundance. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) performed showed that environmental variables such as dissolved oxygen, conductivity, water temperature, water velocity, pH, vegetal debris occurrence, canopy closure, phosphate and redox potential influence strongly diversity and abundance of shrimp fauna. This study determined the influence of environmental variables on the diversity and abundance of shrimp fauna in the superior part of Cavally and confirms the consequences of human activities of the quality of habitats.

KEYWORDS: Decapoda, ecology, abundance, human activities, West Africa.

RÉSUMÉ: Cette étude se propose d'étudier l'écologie et la diversité des communautés de crevettes dans le cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). Les échantillonnages ont été menés mensuellement de septembre 2015 à août 2016, à l'aide d'une épuisette et des nasses. Cinq espèces de crevettes ont été capturées : *Macrobrachium dux*, *M. felicinum*, *M. macrobrachion*, *M. vollenhovenii* et *M. thysi* (Palaemonidae). *Macrobrachium vollenhovenii* est la plus largement distribuée (100 % d'occurrence et 42,37 % d'abondance relative). L'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) a montré que les variables environnementales telles que le taux d'oxygène dissous, la conductivité, la température de l'eau, la transparence, le pH, le taux de fermeture de la canopée, le phosphate et le potentiel d'oxydoréduction influencent fortement la diversité et la répartition des différents taxons. Cette étude a permis de déterminer l'influence des variables environnementales sur la diversité et l'abondance de la faune de crevettes dans le cours supérieur du fleuve Cavally et confirme l'influence des activités anthropiques sur la répartition et la distribution des différentes espèces le long du cours d'eau.

MOTS-CLEFS: Décapodes, écologie, abondance, activités anthropiques, Afrique de l'ouest.

1 INTRODUCTION

L'importance des crevettes dans le monde est assez bien connue surtout dans le domaine socioéconomique. En effet, elles constituent un groupe zoologique très diversifié [4] dont 300 espèces présentent un intérêt économique [8], [5]. Outre leur importance socioéconomique, les crevettes jouent un rôle majeur dans l'équilibre de la nature [9], [16], [14]. Cependant, exacerbées par les changements climatiques, les activités anthropiques causent la perte de cette diversité biologique réduisant donc graduellement la fourniture en biens et services notamment en protéine animale crevette [18], [23].

Le fleuve Cavally en Côte d'Ivoire connaît depuis quelques années une pollution accrue et incessante liée à la déforestation, au développement des activités agricoles et surtout au phénomène de l'orpaillage clandestin dans les localités proches de la mine d'or d'Ity. Par ailleurs, les données relatives au peuplement des crevettes de ce cours d'eau sont quasi inexistantes. Une connaissance des données s'avère nécessaire pour une meilleure évaluation de la biodiversité de ce hydrosystème.

Cette étude menée pour la première fois sur le cours supérieur du fleuve Cavally vise à étudier la distribution spatio-temporelle et l'impact des activités humaines sur la faune crevette dans cet écosystème en vue d'une contribution à sa sauvegarde.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Le fleuve Cavally prend sa source en Guinée, au nord du Mont Nimba, à une altitude voisine de 600 m. Long de 700 km, son lit sert de frontière entre le Liberia et la Côte d'Ivoire dans son cours moyen (un peu au sud de Toulépleu) et dans son cours inférieur [10]. Quatre stations d'échantillonnage ont été choisies sur le Cavally et ses affluents de part et d'autre de la zone industrielle minière dénommées « Ity » : une station en amont, une station intermédiaire au niveau de la mine et deux autres stations en aval. Cette répartition a été faite pour mesurer l'impact des activités anthropiques (surtout la mine d'or et l'orpaillage) (Figure 1).

2.2 MESURE DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Les paramètres physico-chimiques (Tableau 1) ont été mesurés par saison in situ de septembre 2015 à août 2016 dans les quatre stations. La température de l'eau, le potentiel d'Hydrogène, la conductivité, le taux d'oxygène dissous et le potentiel redox, ont été mesurés à l'aide de multi paramètres de marque HQ 30d. Outre ces appareils, un disque de Secchi de 30 cm de diamètre peint en blanc-noir et une corde lestée pour la profondeur ont été utilisés pour estimer en centimètres, respectivement, la transparence, la largeur et la profondeur de l'eau. Le taux moyen de fermeture de la canopée ainsi que la nature du substrat ont été visuellement estimés en pourcentage pour chaque station conformément à la méthode de [13] et [22]. La vitesse du courant a été mesurée conformément à la méthode de [17].

Au niveau de chaque station, des échantillons d'eau ont été prélevés avant la pêche et conservés au frais pour le dosage au spectrophotomètre DR/2010 des composés ioniques : nitrates (NO_3^-) et phosphates (PO_4^{3-}) [20] et pour le dosage de cyanure.

2.3 ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES CREVETTES

Les crevettes ont été échantillonnées une fois mensuellement de septembre 2015 à août 2016 à l'aide d'une épuisette de diamètre d'ouverture de 25 cm et de vide de maille de 2 mm. La pêche a été effectuée par une seule personne. L'épuisette est plongée dans l'eau puis retirée au bout d'une période de temps suffisante pour optimiser la capture des crevettes. Un temps d'arrêt est observé pour la collecte et le tri des spécimens capturés.

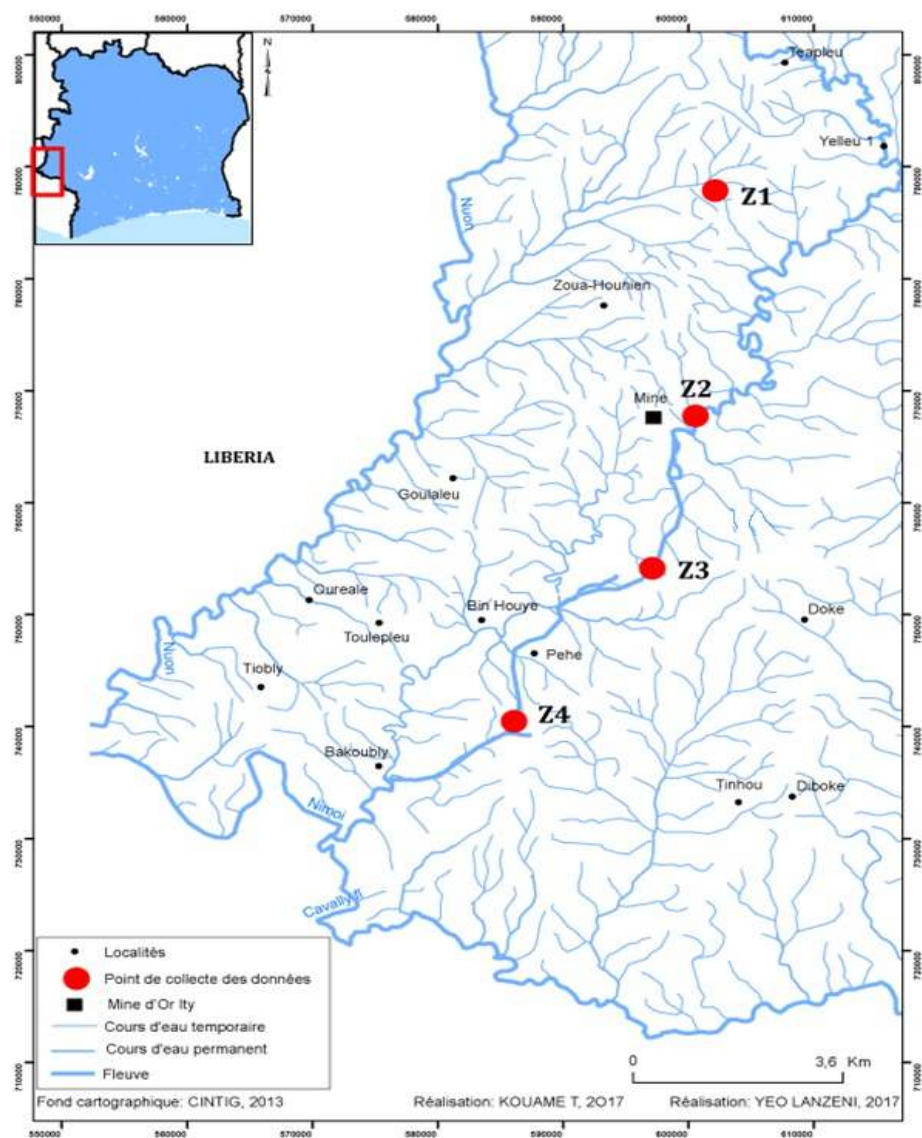


Fig. 1. Stations échantillonnées dans le cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016

Après le tri l'épuisette est à nouveau mise dans l'eau et la pêche se poursuit. En plus de l'épuisette, des nasses appâtées par des résidus de manioc frais ou précuit ont été employées.

Les crevettes capturées ont été conservées dans des bocaux contenant du formaldéhyde titré à 10 % et étiquetés. L'étiquette porte la date et l'heure de la récolte, le nom de la station d'échantillonnage, le type d'engins de capture et le type de pêche pratiquée. L'identification des crevettes s'est faite à l'aide des clés de détermination de [21] et [12].

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

La richesse taxonomique et le pourcentage d'occurrence ont été utilisés pour déterminer la structure et la dynamique du peuplement de crevettes.

Tableau 1. Variables environnementales (moyenne $\pm$ écart type) mesurées dans les différentes stations (ZONE 1: Lieupleu; ZONE 2: Ity; ZONE 3: Floleu; ZONE 4: Glareu) dans le cours supérieur du Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016

Stations	Saisons	Variables environnementales											
		O2	Pot	pH	T. eau	Cnd	Cyn	PO4	NO3	Transp	Prof	Can	Vit
ZONE 1	SP	6,07 $\pm$ 2,7	101,52 $\pm$ 25,04	10,25 $\pm$ 0,49	25,56 $\pm$ 0,50	57,51 $\pm$ 16,97	0 $\pm$ 0,00	0,08 $\pm$ 0,00	1,35 $\pm$ 0,00	45,28 $\pm$ 39,16	1,72 $\pm$ 0,96	53,83 $\pm$ 27,92	0,28 $\pm$ 0,13
		7,06 $\pm$ 2,16	171,51 $\pm$ 81,34	7,25 $\pm$ 0,30	21,36 $\pm$ 2,09	74,47 $\pm$ 40,46	0 $\pm$ 0,00	0,08 $\pm$ 0,00	1,35 $\pm$ 0,00	85,20 $\pm$ 63,01	2,79 $\pm$ 1,36	22,5 $\pm$ 31,82	0,30 $\pm$ 0,32
	SS	5,38 $\pm$ 2,15	98,45 $\pm$ 43,35	9,22 $\pm$ 0,90	26,49 $\pm$ 1,03	45,44 $\pm$ 12,45	0 $\pm$ 0,00	0,10 $\pm$ 0,08	10,51 $\pm$ 8,63	40,21 $\pm$ 30,66	2,21 $\pm$ 2,28	49,69 $\pm$ 32,81	0,29 $\pm$ 0,12
		4,96 $\pm$ 2,55	108,6 $\pm$ 32,80	6,72 $\pm$ 0,36	23,96 $\pm$ 1,27	47,17 $\pm$ 15,27	0 $\pm$ 0,00	0,10 $\pm$ 0,08	10,51 $\pm$ 8,63	50,79 $\pm$ 46,58	2,71 $\pm$ 5,69	54,18 $\pm$ 34,96	0,13 $\pm$ 0,10
ZONE 2	SP	5,26 $\pm$ 3,04	103,97 $\pm$ 22,16	8,29 $\pm$ 0,93	27,33 $\pm$ 1,32	59,28 $\pm$ 31,91	0 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,00	1,04 $\pm$ 0,00	32,63 $\pm$ 12,19	3,88 $\pm$ 2,09	46,50 $\pm$ 24,88	0,19 $\pm$ 0,13
		5,21 $\pm$ 2,15	91,13 $\pm$ 18,66	6,51 $\pm$ 0,19	22,69 $\pm$ 1,55	63,41 $\pm$ 27,47	0 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,00	1,04 $\pm$ 0,00	23,75 $\pm$ 11,17	1,02 $\pm$ 0,79	57,03 $\pm$ 12,28	0,45 $\pm$ 0,38
	SS	5,92 $\pm$ 1,25	118,98 $\pm$ 17,64	8,00 $\pm$ 0,00	26,08 $\pm$ 0,92	41,95 $\pm$ 5,67	0 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	5,64 $\pm$ 7,78	47,00 $\pm$ 8,63	4,12 $\pm$ 5,64	44,67 $\pm$ 29,94	0,10 $\pm$ 0,07
		5,30 $\pm$ 2,66	90,34 $\pm$ 35,63	6,78 $\pm$ 0,18	24,18 $\pm$ 1,38	47,28 $\pm$ 1,56	0 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	38,50 $\pm$ 16,41	1,87 $\pm$ 1,30	21,50 $\pm$ 15,57	0,14 $\pm$ 0,25

Dans une même station, les variables à valeurs écrites en gras présentent des différences significatives entre les saisons (ANOVA, $p < 0,05$).

Le pourcentage d'occurrence est défini par la formule suivante : $F = (pi/P) \times 100$, pi = nombre d'échantillon où l'espèce i apparaît et P = nombre total d'échantillons dans un milieu. La classification des taxons sur la base de leur pourcentage d'occurrence a été faite selon [3]: $\%F \geq 50$: taxon constant ; $25 \leq \%F < 50$: taxon accessoire et $\%F < 25$: taxon accidentel.

Les variations spatiotemporelles de la richesse spécifique ont été évaluées par le test U de Mann-Whitney. L'analyse de variance (ANOVA) a permis d'évaluer le degré de significativité des variations spatiotemporelles des catégories écologiques.

Le test de corrélation de Spearman a été utilisé pour l'analyse de la relation entre l'abondance des espèces et les variables environnementales.

L'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) avec le programme Canoco for Windows version 4.5 a été employée pour mettre en relation les variables environnementales et les différents taxons de crevettes.

3 RÉSULTATS

3.1 COMPOSITION ET DISTRIBUTION DES ESPÈCES

3.1.1 POURCENTAGE D'OCCURRENCE

Cinq espèces du genre *Macrobrachium* appartenant à la famille des Palaemonidae ont été récoltées. Il s'agit de *Macrobrachium vollenhovenii*; *M. macrobrachion*; *M. dux*; *M. thysi* et *M. felicinum* (Figure 2).

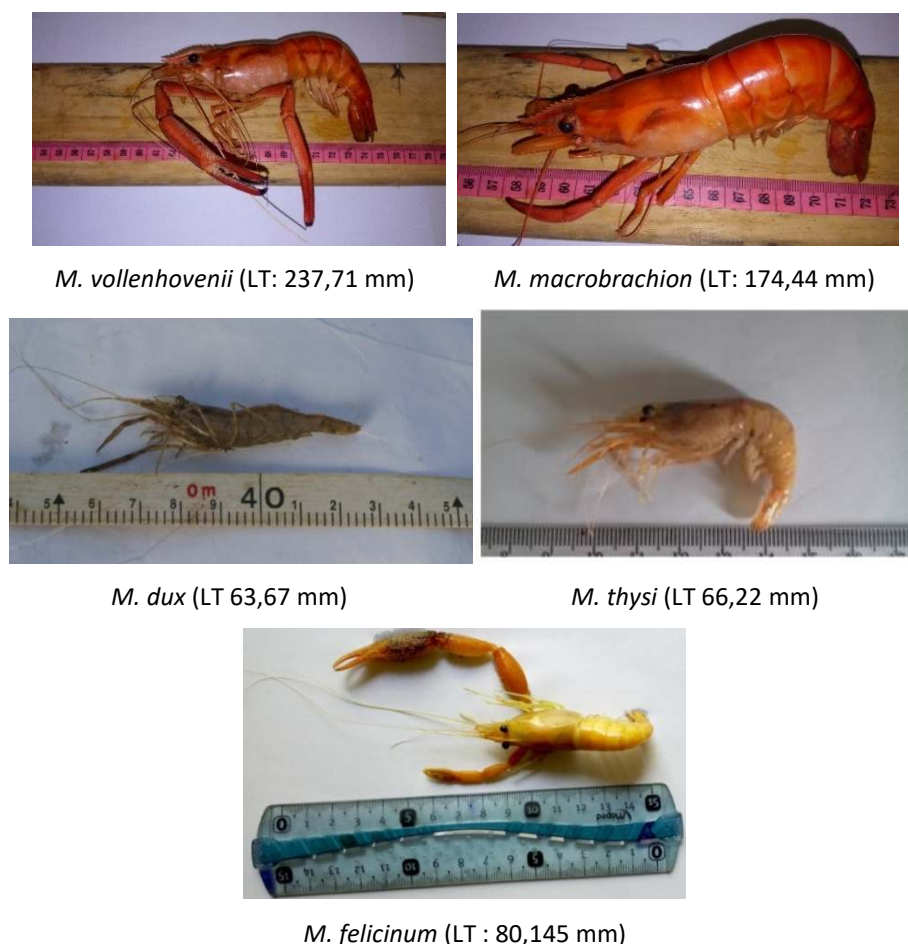


Fig. 2. Espèces de crevettes capturées dans le cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016

La richesse spécifique est plus élevée dans les stations Z1 et Z2 qui enregistrent quatre espèces chacune sur l'ensemble des espèces échantillonnées. Au niveau de la station Z1, *M. thysi* n'a pas été observée. Deux espèces (*M. vollenhovenii* et *M. macrobrachion*) ont été récoltées à la station. A la station Z4, trois espèces ont été prélevées excepté *M. thysi* et *M. felicinum*. Ces deux espèces sont spécifiques respectivement aux stations Z2 et Z1. Par contre, *M. vollenhovenii* et *M. macrobrachion* sont communes à toutes les stations. En ce qui concerne le pourcentage d'occurrence des espèces, elle diffère d'une station à une autre. *Macrobrachium vollenhovenii* et *M. macrobrachion* sont présentes dans toutes les stations (%F = 100). *Macrobrachium dux* l'est également (75%) sauf à Z3 où elle est rare (%F < 25%). Les espèces *M. thysi* et *M. felicinum* apparaissent de façon accessoire (%F = 25) respectivement à la station Z2 et station Z1. L'analyse de la variation saisonnière des espèces capturées a révélé les mêmes résultats chez l'ensemble des spécimens pendant les saisons sèche et pluvieuse (*M. vollenhovenii* et *M. macrobrachion*: %F = 100 ; *M. dux*: %F = 75%). Exception faite chez *M. thysi* en saison des pluies. Cette dernière espèce est absente en saison pluvieuse (%F < 0%) mais est présente en saison sèche de façon accessoire (%F = 25). Par contre, *M. felicinum* (%F < 25), est plutôt rare pendant la saison sèche.

3.1.2 ABONDANCE NUMÉRIQUE DES ESPÈCES

A l'échelle de l'ensemble des stations échantillonnées au cours de cette étude, l'espèce *M. vollenhovenii* est la plus abondante avec 383 individus sur 904 soit 42,37 %. Elle est suivie par *M. dux* avec 321 individus soit 35,51 % et *M. macrobrachion* avec une abondance de 175 individus soit 19,36 %. Les autres espèces (*M. thysi* et *M. felicinum*) représentent respectivement 1,21% et 1,55% de l'effectif total (Figure 3). A l'échelle de chaque station, l'analyse a montré que les espèces *Macrobrachium dux*, et *M. vollenhovenii* sont les plus abondantes dans la station Z4. Les espèces *M. macrobrachion* et *M. felicinum* sont plus abondantes à la station Z1 et *M. thysi* est la plus abondante à la station Z2. L'analyse de l'abondance des différentes espèces de crevettes faite en considérant uniquement les saisons (pluvieuse et sèche) a révélé que les espèces de grandes tailles (*M. macrobrachion* et *M. vollenhovenii*) sont plus abondantes pendant la période pluvieuse dans la plupart des stations sauf à la station Z3 où cette tendance n'est pas respectée pour *M. macrobrachion*. Les espèces de petite taille telles

que *Macrobrachium dux* et *M. thysi* sont les plus abondantes pendant la saison sèche (Figure 4). L'espèce *Macrobrachium felicinum* est plus abondante en saison des pluies. Le test *U* de Mann-Whitney utilisé pour apprécier les variations spatio-temporelles de la richesse spécifique montre une différence statistiquement significative pour *M. dux* entre la saison sèche et la saison des pluies (test *U* de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

3.2 CORRÉLATIONS ENTRE VARIABLES ENVIRONNEMENTALES ET L'ABONDANCE NUMÉRIQUE DES CREVETTES

Les résultats de l'analyse de la corrélation de Rang de Spearman appliquée à la matrice espèces/variables environnementales ont montré que le taux d'oxygène dissous, la température de l'eau, la transparence et la teneur en phosphate de l'eau, influencent fortement l'abondance et la distribution des différentes espèces de crevettes ($p < 0,05$) (Tableau 2). L'abondance numérique de *M. macrobrachion* est corrélée positivement à l'oxygène dissous, au taux de phosphate dissous et à la transparence alors que celle de *M. dux* est négativement corrélée à la température de l'eau et au taux de phosphate dissous.

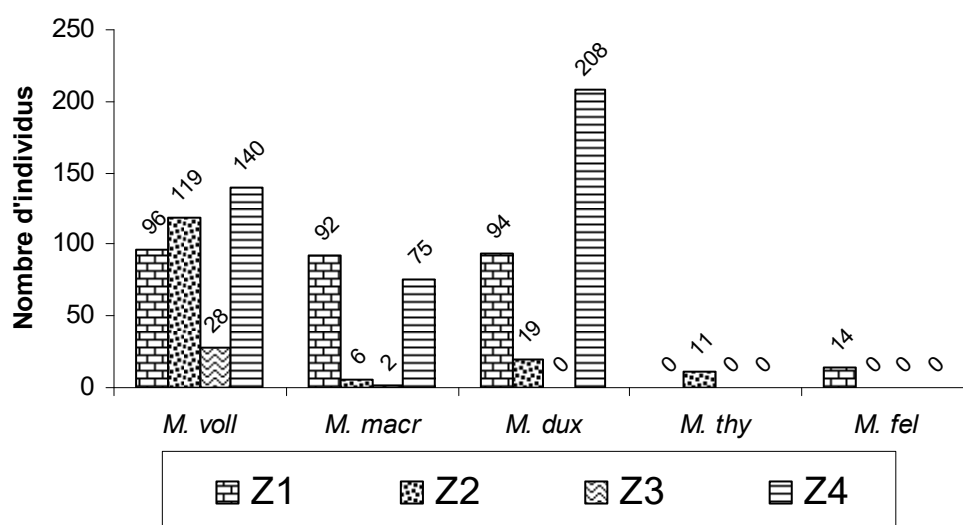


Fig. 3. Abondance numérique des différentes espèces de crevettes en fonction des stations d'échantillonnage du cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016

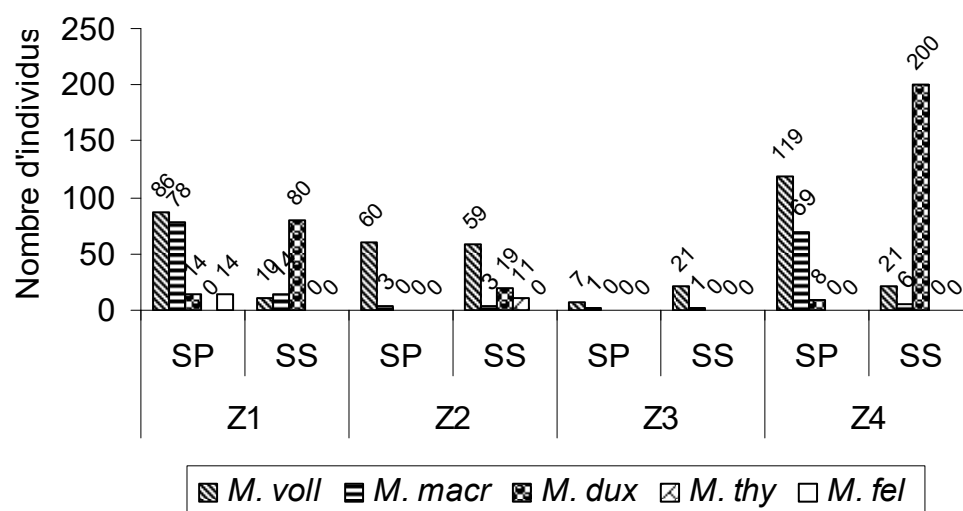


Fig. 4. Abondance numérique des crevettes capturées durant les saisons pluvieuse et sèche dans les différentes stations du cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016. SP = saison pluvieuse ; SS = saison sèche. SP = saison pluvieuse ; SS = saison sèche

Les résultats de l'analyse canonique de correspondance (ACC) appliqués à la même matrice ont montré que les valeurs propres des axes 1 ($\lambda_1 = 0,18$) et 2 ($\lambda_2 = 0,16$) sont plus élevées que celles des axes 3 ($\lambda_3 = 0,10$) et 4 ($\lambda_4 = 0,02$). De plus, les deux premiers axes expriment la majorité de la variable cumulée espèces/variables environnementales avec 74,5 %. Par conséquent, seuls ces deux axes ont été considérés dans l'interprétation des résultats. En considérant l'axe 1 qui exprime le plus grand pourcentage de la variance cumulée (39,7 %), il y a une nette distinction de *Macrobrachium thysi* et de *Macrobrachium dux* des autres espèces. Ces deux espèces sont corrélées positivement à l'axe 1. *Macrobrachium thysi* est associée à la station Z2. Située dans la partie positive de l'axe 1, cette station est caractérisée par les eaux peu profondes avec un taux élevé d'ions nitrate. *Macrobrachium dux* est associée aux stations Z1 et Z4.

Tableau 2. Résultats de l'analyse de corrélation de Rang de Spearman (*p*-values) entre les différentes espèces de crevettes et les variables environnementales dans le cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016

Espèces	Variables environnementales										
	OXY	Pot	PH	T. eau	Cnd	PO4	NO3	Transp	Prof	Can	Vit
<i>Macrobrachium vollenhovenii</i>	-0,04	0,02	-0,04	-0,20	-0,24	-0,19	0,26	0,25	-0,08	0,13	-0,15
<i>Macrobrachium macrobrachion</i>	0,38	0,10	0,10	-0,27	0,02	0,42	-0,02	0,35	-0,01	-0,22	-0,08
<i>Macrobrachium dux</i>	0,16	-0,07	-0,10	-0,36	0,04	-0,38	0,12	0,28	-0,13	-0,21	-0,14
<i>Macrobrachium thysi</i>	-0,25	0,11	0,20	-0,14	-0,08	0,07	0,21	0,20	0,03	0,20	-0,17
<i>Macrobrachium felicinum</i>	0,18	-0,13	0,24	-0,01	0,04	-0,07	-0,01	0,04	-0,18	0,13	0,04

Les valeurs écrites en gras présentent une corrélation significative.

Elle est négativement corrélée à la température de l'eau et au taux de phosphate dissous dans le milieu. Cette espèce est par ailleurs, corrélée positivement à la transparence. Quant à *M. vollenhovenii*, elle est associée aux stations Z2, Z3 et Z4. Elle est corrélée négativement à la température de l'eau, au taux de fermeture de la canopée et au taux de phosphate dissous dans le milieu. Les autres espèces *M. macrobrachion*, *M. felicinum* sont associées aux stations Z1 et Z4. Elles sont corrélées négativement à la vitesse de l'eau, au pH, à la conductivité électrique des eaux et taux d'oxygène dissous dans l'eau (Figure 5).

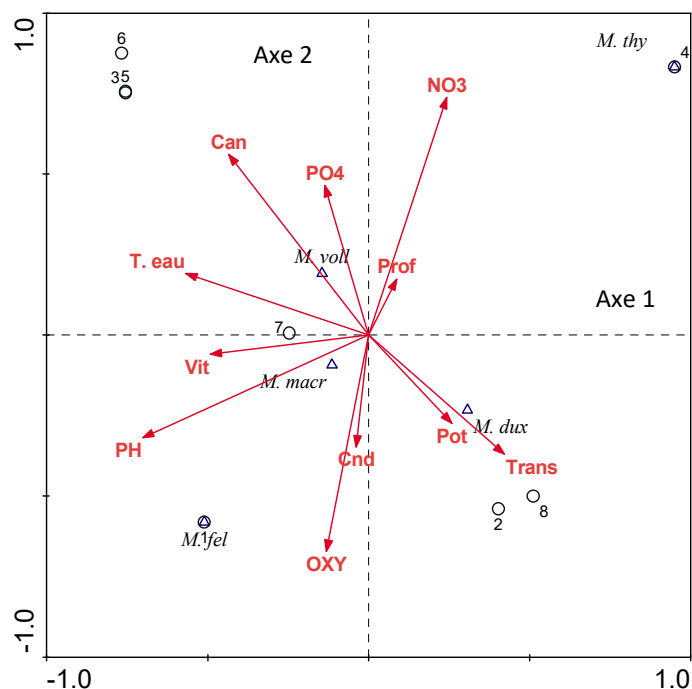


Fig. 5. Résultats de l'Analyse Canonique de Correspondance (ACC) montrant les relations entre les variables environnementales, les stations d'échantillonnage et les différents taxons de crevettes dans le cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) de septembre 2015 à août 2016

4 DISCUSSION

Les différents échantillonnages effectués dans le cours supérieur du fleuve Cavally (Côte d'Ivoire) ont permis de récolter 1051 spécimens dont 904 ont été identifiés de façon formelle et regroupés en 5 espèces. Ces taxons appartiennent au genre *Macrobrachium* et à la famille des Palaemonidae. Nos résultats sont comparables à ceux de [11] et [6] qui ont mis en évidence respectivement cinq et six espèces. Cependant, la richesse spécifique de la présente étude est nettement inférieure à celle mentionnée par [19] (13 espèces) [14] (9 espèces) et [6] (13 espèces) mais supérieure à celle des travaux de [1] et [7] qui ont fait état de 3 espèces. Plusieurs raisons pourraient expliquer des différences de compositions spécifiques : le matériel et la méthodologie utilisés, les caractéristiques environnementales des biotopes échantillonnés, les périodes d'échantillonnages et la migration des espèces [6]. La variabilité des habitats prospectés et les périodes d'échantillonnage pourraient également justifier les différences spécifiques observées entre ces différents écosystèmes [15]. Outre la panoplie de niches écologiques renfermant différentes espèces qui offre de nombreux choix d'échantillonnage, s'ajoute le matériel utilisé et l'effort de pêche qui sont des facteurs déterminants dans la récolte. Dans le présent travail, l'étude de l'abondance a montré que la grande majorité des spécimens a été obtenue en saison pluvieuse. Cela se traduit par la présence d'une forte canopée pendant les périodes humides de l'année et la variabilité des biotopes. En effet, les milieux tropicaux et subtropicaux en général [9], [16], [14] et en particulier les périodes de crue, offrent, non seulement une zone d'alimentation pour ces crevettes, mais aussi une zone de reproduction pour certaines espèces à cycle biologique complexe [6].

L'analyse de la variation saisonnière de la richesse spécifique a montré que la plus grande richesse spécifique a été enregistrée pendant la saison des pluies. Ces données attestent que les conditions de vie sont plus favorables pour les organismes aquatiques pendant cette période. En effet, les plans d'eau bénéficient d'une meilleure oxygénation du fait des mouvements d'agitation dus au courant d'eau, et disposent aussi en période de crue, d'une importante quantité de nourriture grâce au flux de nourritures (fruits, débris végétaux et invertébrés terrestres) drainées au cours des inondations et/ou régimes des pluies [2].

L'analyse de la corrélation entre la diversité des crevettes et les caractéristiques environnementales a montré que le taux d'oxygène dissous, la température de l'eau, la transparence, la teneur en phosphate sont les caractéristiques environnementales qui influencent la diversité et l'abondance des espèces. *Macrobrachium thysi* a pour préférence les eaux bien oxygénées, froides, à faible courant et à faible conductivité comme mentionné par [1] et [7]. Les résultats obtenus dans la présente étude, montre que cette espèce peut également vivre dans des cours d'eau peu profonds et avec présence d'ions nitrates. Dans la présente étude, le taux de cyanure lié à l'exploitation de l'or a été dosé; les analyses ont donné des valeurs inférieures à 0,001mg/l soit 0,00 mg/l. Cette valeur est largement inférieure aux normes internationales fixées par l'OMS (0,7 mg/l). Malgré tout, ce milieu demeure perturbé et cela est clairement perceptible au niveau de certaines parties des berges, beaucoup fréquentées par les populations riveraines.

Par conséquent, les disparités mises en évidence dans la distribution des crevettes montrent que les zones beaucoup fréquentées par les hommes sont moins peuplées en crevettes par rapport aux milieux moins perturbés. Ce constat est similaire à ceux de [20] dans la rivière Boubo. En générale, les stations Z1 et Z4 (zones moins perturbées) sont plus peuplées et diversifiées que les stations Z2 et Z3 (zones d'intenses activités anthropiques). L'abondance élevée de *Macrobrachium vollenhovenii* à Z2 est un cas particulier et laisse penser que cette espèce s'adapte et résiste mieux aux milieux perturbés.

5 CONCLUSION

Au total cinq espèces de crevettes dont une espèce endémique à la Côte d'Ivoire (*Macrobrachium thysi*) ont été échantillonnées au cours de cette étude. *Macrobrachium vollenhovenii* apparaît comme l'espèce la plus largement distribuée et la plus abondante. Le taux d'oxygène dissous, la conductivité, la température de l'eau, la transparence, le potentiel d'oxydoréduction, le pH et le taux de phosphate dissous influencent significativement la diversité et l'abondance des différentes espèces de crevettes.

Des activités anthropiques perturbent l'abondance et la distribution des crevettes surtout au niveau de la zone intermédiaire du milieu d'étude.

Des mesures de préservation seraient envisageables pour la sauvegarde de la biodiversité des hydrosystèmes de cette partie du pays non encore véritablement exploitée pour ses ressources halieutiques.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche intitulé «contribution à la connaissance de la biodiversité ichtyofaune du Cavally à l'ity département de Zouan-Hounien». Les auteurs remercient toutes les personnes qui, de loin ou de près, ont participé à sa réalisation.

REFERENCES

- [1] Camara I. A., Konan M. K., Diomandé D., Edia E. O. & Gourène G., 2009. Ecology and diversity of freshwater shrimps in Banco National Park, Côte d'Ivoire (Banco River Basin). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 393: 1-10.
- [2] 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.
- [3] Castillo-Rivera M, 2013. Influence of rainfall pattern in the seasonal variation of fish abundance in a tropical estuary with restricted marine communication. *Journal of Water Resource and Protection*, 5: 311-319. régionale Conakry (Guinée): 8-9 p.
- [4] Dajoz R, 2000. Précis d'écologie. Dunod, Paris, France, 615 p.
- [5] De Grave S. & Franssen C. H. J. M., 2011. Carideorum catalogus: the recent species of the dendrobranchiate, stenopodidean, procarididean and caridean shrimps (Crustacea: Decapoda). *Zoologische Mededelingen Leiden*, 85 (9): 195-589.
- [6] Djiriéoulou K. C., 2017. Peuplements des crevettes des hydrosystèmes de marais et fluvio-lagunaires du Sud-Est de la Côte d'Ivoire : diversité, structure et croissance des populations. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 150 p.
- [7] Djiriéoulou K. C., Bamba M., Konan K. M., N'Zi K. G., Gooré Bi G. & Koné T., 2017. Peuplement de la faune de crevettes de la Forêt des Marais Tanoé-Ehy (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 112: 11100-11110.
- [8] Djiriéoulou K. C., Konan K. M., Koné T., Bamba M., Gooré Bi G. & Koné I., 2014. Shrimp Assemblages in Relation to Environmental Characteristics of Four Shallow Rivers in South East Côte d'Ivoire. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14: 651-658.
- [9] Fischer W., Bianchi G. & Scott W. B., 1981. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Atlantique centre-est. Zone de pêche 34, 47. Fonds des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Ottawa, Canada, 73 p.
- [10] Fossati O., Mosseron M. & Keith P., 2002. Distribution and habitat utilization in two Atyid shrimps (Crustacea: Decapoda) in rivers of Nuku-Hiva Island (French Polynesia). *Hydrobiologia*, 472 : 197-206.
- [11] Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P. Guillaume L. J., Adjanohoun E. & Perraud A., 1971. Aperçu sur les régimes hydrologiques, 2 : 129 -155.
- [12] Gooré Bi G., 1998. Contribution à l'étude des crevettes d'eau douce de Côte d'Ivoire: systématique, biologie et analyse socioéconomique de la pêche de *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots 1857) et de *M. macrobrachion* (Herklots 1851) (Crustacea Decapoda, Palaemonidae) du bassin de la Bia. Thèse de Doctorat 3e cycle, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 145p.
- [13] Gooré Bi G., Kouassi N. J. & Thys Van Den Audenaerde F. E. D., 2002. Critères pratiques d'identification et peuplement des crevettes (Caridae) de la rivière Bia (Côte d'Ivoire). *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire Cheikh Anta Diop*, Dakar, Sénégal, pp. 163-186.
- [14] Gordon N. D., McMahon T. A. & Finlayson B. L., 1994. Stream hydrology: an introduction for ecologists, Wiley and Sons, New York, France, 526 p.
- [15] Konan K. M., 2009. Diversité morphologique et génétique des crevettes des genres *Atya* Leach, 1816 et *Macrobrachium* Bate, 1868 de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 154 p.
- [16] Kouamélan E. P., Teugels G. G., N'Douba V., Gooré Bi G. & Koné T., 2003. Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin. *Hydrobiologia*, 505: 139-146.
- [17] March J. G., Pringle C. M., Townsend M. J. & Wilson A. I., 2002. Effects of freshwater shrimp assemblages on benthic communities along an altitudinal gradient of a tropical island stream. *Freshwater Biology*, 47 (3): 377-390.
- [18] McMahon T. E., Zale A. V. & Orth D. J., 1996. Aquatic habitat measurements. In *Fisheries Techniques*, Murphy BR, Willis DW (eds). *American Fisheries Society*, Bethesda, Maryland, USA, pp. 83-120.
- [19] Moyle P. B. & Leidy R.A., 1992. Loss of biodiversity in aquatic ecosystems: evidence from fish fauna. In: *Conservation Biology: the Theory and Practice of Nature Conservation. Preservation and Management* (Fielder PL & Jain SK, eds). Chapman & Hall, London, Canada, pp. 127-169.
- [20] N'Zi K. G., 2007. Diversité biologique des peuplements de crevettes d'eaux douces de Côte d'Ivoire en relations avec les variables environnementales du milieu. Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 178 p.

- [21] N'Zi K. G., Gooré B. G., Kouamélan E. P., Koné T., N'Douba V. & Ollevier F., 2008. Influence des facteurs environnementaux sur la répartition spatiale de crevettes dans un petit bassin ouest africain: rivière Boubo (Côte d'Ivoire). *Tropicultura*, 26 (1): 17-23.
- [22] Powell C. B., 1982. Fresh and brackish water shrimps of economic important in the Niger Delta. University of Port Harcourt. Present to the second conference of the fisheries society of Nigeria held at Calabar, 24-27 January, 1982, 1-45.
- [23] Rios S. L. & Bailey R. C., 2006. Relationships between riparian vegetation and stream benthic communities at three spatial scales. *Hydrobiologia*, 553: 153-160.
- [24] Tchakonté S., Ajeegah G., Diomandé D., Camara A. I., Konan K. M., Ngassam P., 2014. Impact of anthropogenic activities on water quality and Freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(2): 183-194.

Essential oils of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Cymbopogon nardus* L. and *Citrus* sp: Insecticidal activity on the Pink Bollworm *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera; Gelechiidae) and prospects for cotton pest management in Côte d'Ivoire

Koffi Christophe KOBENAN¹, Germain Elisabeth Cynthia OCHOU², Malanno KOUAKOU³, Acka Emmanuel DICK¹, and Ochou Germain OCHOU³

¹Laboratory of Plant Physiology,
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY University (UFHB),
Côte d'Ivoire

²Laboratory of Cytology and Biology,
Nangui Abrogoua University (UNA),
Côte d'Ivoire

³Laboratory of Agricultural Entomology,
National Center for Agricultural Research (CNRA),
Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Côte d'Ivoire, the loss of cotton yield is mainly due to attacks caused by pest insects such as, the pink worm, *Pectinophora gossypiella* Saunders. For decades, the repeated use of chemical insecticides to control these pests has threatened the viability of the production system. Faced with the negative consequences linked to the use of synthetic chemicals, the search for alternative methods is essential. The objective of this study is therefore to evaluate the chemical properties and the insecticidal activity of essential oils extracted from *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus* and *Citrus* sp on *P. gossypiella*. In the laboratory, nine concentrations (0.25; 0.50; 1; 2; 4; 8; 16; 32 and 64 %) for each of the three essential oils, with three replications, were tested by topical application method on adults of the pest using a micro-applicator. Results showed that the pest developed variable levels of sensitivity to those plant oils. The one extracted from *C. citratus* was the most toxic to *P. gossypiella*. The lethal concentrations (LC₅₀ and LC₉₀) measured were 1.67 and 4.07 % respectively. Furthermore, the results of the gas chromatography coupled mass spectrometry (GS/SM) analysis indicated that the essential oils of the three aromatic plants evaluated were strongly composed of monoterpenes (91.57-100 %). *C. citratus* extract was the richest in oxygenated monoterpenes (73.71 %) followed by *C. nardus* extract (46.59 %). The essential oil of *C. citratus* can be used rationally as an alternative option to chemical in the current cotton pest control program in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: Cotton, *Pectinophora gossypiella*, essential oils, *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus*, *Citrus* sp.

1 INTRODUCTION

In Côte d'Ivoire, cotton is the backbone of the rural economy in savannah areas and helps fight poverty thanks to the monetary income it provides [1]. It generates a contribution of 1.7 % to national GDP and 7 % as a share of exports since the early 2000 [2].

Although this crop has enabled Côte d'Ivoire and its people to make significant socio-economic progress, pests are a very serious constraint to cotton production [3]. Cotton is attacked by many species of lepidopteran insects at different stages of plant growth and the pink Bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) is one of the most harmful [4] and widespread pest

in the country [5]. Damage caused by insect pests is estimated at 61.9 % on the yield of cotton seed, 2.1 to 47.10 % on seed oil content and 10.70-59.20 % loss in normal capsule opening [6]. Thus, cotton protection method evolved since decades was based mainly on chemicals to fight cotton pests. The number of insecticide treatments is therefore 6 per season, including 2 or 3 during the vegetative phase and 3 or 4 in the fruiting phase of the plant [7]. With this phytosanitary strategy, cotton alone absorbs more than 60 % of the chemicals sold on the Ivorian market [8].

Indeed, the practice of chemical pest control is one of the successful factors that has facilitated the development of cotton sectors in West Africa [7]. However, it threatens the viability of production systems. The use of chemical pesticides in cotton cultivation, which requires several applications, has always posed potent danger for farmers and populations alike through environmental pollution, toxicity to mammals, and the resistance phenomena of harmful insects [9].

With regard to problems posed by the use of conventional insecticides, one of the alternative solutions is to control insects with natural substances. Thus, some recent work has highlighted the insecticidal or repellent power of certain plants, their extracts and allelochemical derivatives [10]. In many countries, several authors revealed biopesticide activities of aromatic plants such as *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus* and *Citrus sp*. Indeed, in Cameroon, Tchoumboungang *et al.* [11] stated that the essential oil of *C. citratus* would be very effective against *Anopheles gambiae* (an insect vector of malaria). Recently, in Burkina Faso, Ouédraogo *et al.* [12] confirmed the insecticidal activity of *C. nardus* on *Sitophilus zeamais* and *Rhyzopertha dominica*, the main pest insect of maize. As for the essential oil of lemon, in Algeria, Belguendouz *et al.* [13] proved its effectiveness on the population dynamics of *Parlatoria ziziphi* (Homoptera, Diaspididae), a formidable pest of citrus fruits.

In the present study, we propose to analyze on the basis of their biopesticide potential, chemical properties of essential oils extracted from three local aromatic plants *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus* and *Citrus sp* and to evaluate their insecticidal activities on the cotton pink bollworm *P. gossypiella* in order to ascertain their rational use in the current cotton pest management.

2 METHODS AND MATERIALS

2.1 EXPERIMENTATION SITE

The experiment was carried out at the Laboratory of Agricultural Entomology of the cotton research program of the National Center for Agricultural Research of Bouaké (latitude 7°40' N and longitude 5°2' W).

2.2 ANIMAL MATERIAL

The last larval stages of *P. gossypiella* were obtained from green cotton capsules (*Gossypium hirsutum* L.) collected from a naturally infested experimental plots. The larvae were kept in the Laboratory, without any food, in plastic boxes (50 cm x 20 cm) containing cotton fiber. They were subjected to a photoperiod of 12 hours, a temperature of 26 ± 2 °C and a relative humidity of 70 ± 5 % [14]. After one week, the incubated larvae became chrysalis. This pupation lasted 13 days on average. Freshly emerged butterflies, that is, one-day old adults, were used for toxicological tests.

2.3 ESSENTIAL OILS

The study was conducted with three essential oils provided by the Laboratory of Biochemistry of Péléféro Gon Coulibaly University of Korhogo in the northern Côte d'Ivoire. They were extracted from the leaves of local aromatic plants belonging to the Poaceae family (*C. citratus*, *C. nardus*) and from lemon zest (*Citrus sp*) collected at the same area.

2.4 EXTRACTION AND ANALYSIS OF ESSENTIAL OILS

Extraction of essential oils was done on the dried leaves at room temperature (28 ± 2 °C) for 2 weeks and on fresh lemon zest. The oils were obtained by steam distillation using a stainless steel still (250L) for 3h.

The essential oils were analyzed by selective gas chromatography (GC) coupled with selective mass spectrometry (GC / MS) in the Department of Chemical and Agri-Food Engineering (GCAA) of National Polytechnic Institute HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB) at Yamoussoukro [15]. The analysis of the chemical constituents was carried out using an Agilent Technologies 6890 N Network GC System N.04.07 type chromatograph equipped with an HP-1 (phenyl-methyl polysiloxane) fused silica capillary column (25m x 200µm x 0.33µm). The oven was programmed at a temperature ranging from 50 to 150 °C at a gradient of 5 °

C / min. The vector gas was helium with a flow rate of 0.8 ml / min. The temperatures of the injector (Agilent Technologies 7683) and the detector (Agilent 5973 Network) were respectively 250 and 280 ° C. A volume of 1 µl of essential oil sample diluted in diethyl ether was injected split mode.

The different volatile constituents were identified by their mass spectra and retention indices in comparison with those of the existing compounds in the database. The compounds were confirmed against standard reference data in the Nist 98.l and wiley275 database. The relative percentages of the different constituents were obtained by integrating their peaks on the gas chromatograph spectrum.

2.5 TOXICOLOGICAL TESTS

The Toxicological tests began with the preparation of essential oil concentrations over a range of concentrations that was determined based on several preliminary tests in the laboratory. Thus, for each of the three essential oils, the extract diluted 1/80th with acetone (80 % solution) was used to prepare the different concentrations tested: 0.25; 0.50; 1; 2; 4; 8; 16; 32; and 64 %.

For the actual tests, butterflies of the same age (1 day after emergence) were distributed in groups of 10 individuals and three repetitions were carried out for each concentration, 3 boxes x 10 individuals. After this, the butterflies in the same group were put to sleep with carbon dioxide at a rate of 20 l / min for 10 seconds to facilitate their treatment by topical application. Each one of them received 1 µl of solution on the dorsal part opposite to his thorax using an Arnold Micro micro-applicator (Burkard, UK) [16]. For each extract, the application was made in ascending order of the concentrations prepared. The control was made with acetone solution. Each group of treated insects was immediately transferred to a 12 cm × 16 cm nest box in a cellophane bag. They were fed with a 10 % (v: v) honey solution as advocated by Wu *et al.* [17] during storage at 26 °C ± 2 °C and 70 % relative humidity for the observations. Experiments involved a total of 600 individuals (butterflies).

2.6 DETERMINATION OF MORTALITY RATES

After topical application, mortality in the different groups was observed at 24 h, 48 h and 72 h. The immobile and visibly moribund insects, which can not fly normally, were considered dead. When dead or moribund insects were observed among the controls, mortality rates were corrected by Abbott's formula [18]: $M_c (\%) = \frac{M_t - M_0}{100 - M_0} \times 100$

M_c: corrected mortality rate

M₀: mortality rate in the control group

M_t: Mortality rate in the treated group

2.7 DATA ANALYSIS

An analysis of variance or ANOVA was done using the SPSS 22.0 software on the rate of insect-corrected mortality according to treatments (essential oils and concentrations). In case of significant difference between treatments, the comparison of averages was done by the Duncan test at the 5 % threshold.

Using the software WinDL 32.0 (CIRAD, Montpellier, version 1998), the lethal concentrations respectively causing the death of 50 % (LC₅₀) and 90 % (CL₉₀) of the populations tested, were determined for each of the essential oils, two days (48 h) after butterfly exposure. They have been deduced from the regression lines. For this, the corrected mortality percentages have been transformed into probits. Finney's method or probit analysis [19] based on regression of probabilities of mortality by logarithms was used for this purpose.

3 RESULTS

3.1 CHEMICAL COMPOSITIONS OF THE ESSENTIAL OILS OF *C. CITRATUS*, *C. NARDUS* AND *CITRUS SP*

Chemical analysis data for samples of essential oils of *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp* are presented in Table 1. According to the results, the essential oil samples are composed of 4, 5 and 8 chemical elements respectively for *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp*. These elements represent 100 % of the components identified in each of the analysed samples. Relatively to the essential oil of *C. citratus* only composed of monoterpenes, the β-Myrcene with a content of 26.29 % was the only

monoterpene hydrocarbon compound. The oxygenated monoterpenes (73.71 %) detected in this oil were α -Citral (31.89 %), Neral (39.33 %) and Sulcatone (2.49 %). For *C. nardus* essential oil, the hydrocarbon and oxygen monoterpenes determined in this sample were comparable (44.98 and 46.59 % respectively). The majority were β -Myrcene (11.19 %), Carene (29.09 %), Neral (20.23 %) and Linalool (23.38 %). To these compounds were added hydrocarbon sesquiterpenes (8.43 %) such as β -Elemène at a content of 1.77 % and 6.66 % δ -guaïene. As for lemon essential oil, strongly composed of hydrocarbon monoterpenes (89.63 %), it consisted mainly of Limonene (59.36 %), β -Pinene (19.42 %) and γ -Terpinolene (10.85 %). A low oxygenated monoterpenes content (10.37 %) characterized this oil with Terpene-4-ol and α -Terpinol as compounds at 3.63 % and 6.74 % respectively.

Table 1. Chemical composition of essential oils of *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp*

Compounds	Mass percentages (%)		
	<i>C. citratus</i>	<i>C. nardus</i>	<i>Citrus sp</i>
Monoterpenes	100	91,57	100
Hydrocarbon monoterpenes	26,29	44,98	89,63
β -Pinene	-	-	19,42
γ -Terpinolene	-	-	10,85
β -Myrcene	26,29	11,19	-
Carene	-	29,09	-
d-Limonene	-	4,70	59,36
Oxygenated monoterpenes	73,71	46,59	10,37
α -Citral	31,89	-	-
Neral	39,33	20,23	-
α -Citronellal	-	2,98	-
Linalool	-	23,38	-
Sulcatone	2,49	-	-
Terpene-4-ol	-	-	3,63
α -Terpinol	-	-	6,74
Sesquiterpenes	-	8,43	-
Hydrocarbon sesquiterpenes	-	8,43	-
β -Elemene	-	1,77	-
δ -guaïene	-	6,66	-
Total	100	100	100

3.2 VARIATION OF THE MORTALITY RATE OF *P. GOSSYPIELLA* AS A FUNCTION OF THE CONCENTRATION OF ESSENTIAL OILS 24, 48 AND 72 h

The results of the mortality rates of *P. gossypiella* as a function of the concentration of the essential oils throughout the test (24 h, 48 h and 72 h) are presented in Figs. 1. In general, the results indicate that the mortality of insect has been in direct relationship with the concentration of the three essential oils. Thus, 24 hours after the test, the essential oil of *Citrus sp* used at concentrations ranging from 0.25 to 16 % allowed mortality between 0 and 46.66 % of the population of tested individuals. On the other hand, there are only two concentrations 32 and 64 % which caused mortalities of more than 50 % (80 % and 100 % respectively). However, with the essential oils of *C. citratus* and *C. nardus* more than 50 % mortality of the tested pest was obtained with five concentrations ranging from 4 to 64 %. Mortality of 100 % of the insect was obtained from 16 % (Fig. 1a). At 48 h, lemon oil (*Citrus sp*) had a very insignificant insecticidal activity with a slight increase in insect mortality ranging from 80 to 83 % at only 32 % concentration. Apart from this concentration no else allowed to obtain more than 50 % of the mortality of the tested individuals (Fig. 1b). An evolution of the insecticidal effect of the essential oil of *C. citratus* was observed from 0.5 to 4 % concentration. With that extracted from *C. nardus*, this increase in the mortality of the individuals tested was obtained with the concentrations of only 0.5 and 4 %. However, all the others had no insecticidal effect at this date of observation (48 h).

At 72 hours of exposure of insects to essential oils, an increase in the mortality of the individuals tested was general with the three plants evaluated (Fig. 1c). Thus, Citrus essential oil, at concentrations ranging from 2 to 32 %, has led to a growth in the mortality of the pest, even if this increase is weakly marked. Nevertheless, during the days of insect exposure to Citrus essential oil, no mortality was observed at concentrations of 0.25 %; 0.50 %; and 1 %. The first mortalities of *P. gossypiella* were

observed from the concentration of 2 % of this essential oil. A totally different finding was made with the essential oils of *C. citratus* and *C. nardus*. In fact, the essential oil of *C. citratus* continued to have an insecticidal effect on the insect tested even 72 hours after the test. This allowed to obtain 100 % of the deaths from the 8 % concentration. Similarly, with *C. nardus* extract, mortality increased from the lowest concentration (0.25 %) to the 4 % concentration. The mortality of all insects tested was obtained at a concentration of 16 % during the three days of exposure of *P. gossypiella*.

3.3 TOXICITY OF THE ESSENTIAL OILS OF *C. CITRATUS*, *C. NARDUS* AND *CITRUS SP* ON *P. GOSSYPIELLA* AT TWO DAYS (48 H) OF EXPOSURE

The lethal concentrations causing respectively 50 % and 90 % death of the populations tested (LC_{50} and LC_{90}), were determined for each of the essential oils. According to the results presented in Table 2, the oil extracted from *C. citratus* and *C. nardus* was much more toxic than that extracted from lemon zest (*Citrus sp*). Indeed, the lethal concentration values determined for the two plants of the genus *Cymbopogon* are respectively: $LC_{50} = 1.67 \pm 0.08$ % and $LC_{90} = 4.57 \pm 0.07$ % for *C. citratus* and: $LC_{50} = 1.71 \pm 0.15$ % and $LC_{90} = 7.12 \pm 0.10$ % for *C. nardus*. The lethal concentration values 50 of these two plants are approximately equal and extremely low, 7 to 11 times, in comparison with those obtained with lemon essential oil ($LC_{50} = 12.80 \pm 0.10$ % and $LC_{90} = 54.68 \pm 0.10$ %). These results imply that the insecticidal activity of *C. citratus* essential oil is very close to that of *C. nardus*.

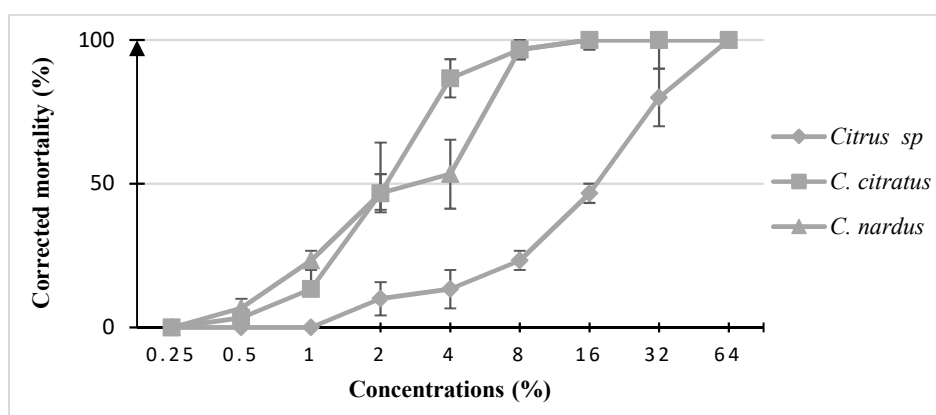


Fig. 1a. Insecticidal effect of the essential oils of *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp* on adult *P. gossypiella* 24 h after topical application

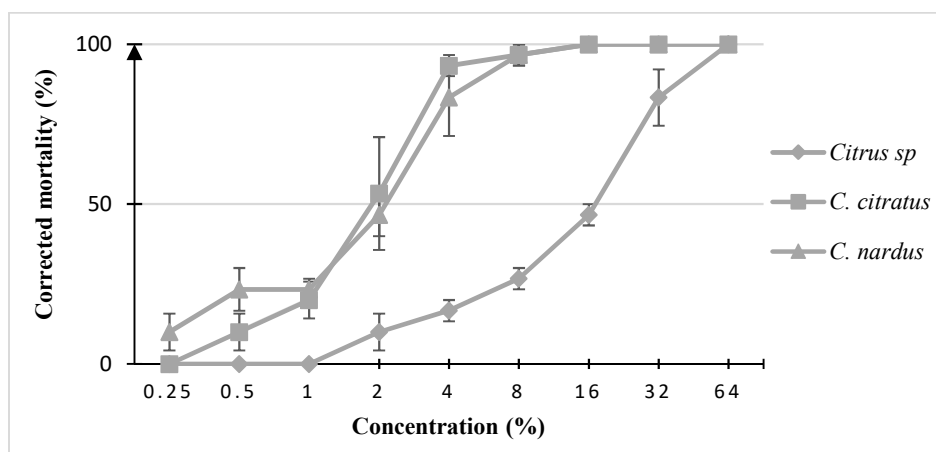


Fig. 1b. Insecticidal effect of the essential oils of *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp* on adult *P. gossypiella* 48 h after topical application

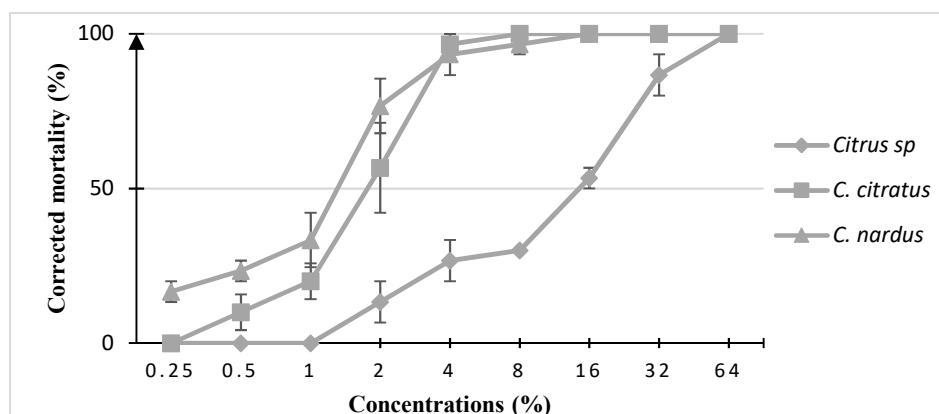


Fig. 1c. Insecticidal effect of the essential oils of *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp* on adult *P. gossypiella* 72 h after topical application

Table 2. Lethal concentrations (LC_{50} and LC_{90} in %) of the essential oils of *C. citratus*, *C. nardus* and *Citrus sp* 48 h after application to adults of *P. gossypiella*

Local plants used	N	λ^2	DF	$LC_{50} \pm SD$ (%)	$LC_{90} \pm SD$ (%)
<i>C. citratus</i>	300	3,05	3	$1,67 \pm 0,08$	$4,57 \pm 0,07$
<i>C. nardus</i>	300	4,88	3	$1,71 \pm 0,15$	$7,12 \pm 0,10$
<i>Citrus sp</i>	300	4,86	4	$12,80 \pm 0,10$	$54,68 \pm 0,10$

N: number of adults tested, λ^2 : Chi 2, DF: degree of freedom, LC_{50} : lethal concentration at 50 %, LC_{90} : lethal concentration at 90 %, SD: standard deviation

4 DISCUSSION

Chemical analysis of the essential oils of the three aromatic plants revealed that the extract of *C. citratus* was the richest in oxygenated monoterpenes with predominance of the compounds such as α -Citral (or geranial) and Neral. This same observation has been made by several authors in many countries [20], [11], [21], [22]. In Côte d'Ivoire, Kouamé *et al.* [23] worked on chemotypes that were characterized by a high percentage of Citral and Neral. A single hydrocarbon molecule, Myrcene, at a percentage of 26.29 % was detected in this essential oil. Our results corroborate those of Chisowa *et al.* [24] in Zambia. Indeed, the chemotype used by these authors was characterized by the presence of this molecule as the sole terpene hydrocarbon compound. With regard to the essential oil extracted from *C. nardus*, the chromatographic analysis of this extract demonstrated that it consisted mainly of Neral (20.23 %) and Linalool (23.38 %) with a low content in Citronellal (2.98 %). This chemotype differs from that studied in 2009 in Togo by Koba *et al.* [20]. In fact, the chemical analysis of the essential oil extracted from their chemotype showed a strong composition of Citronellal (35.5 %) and Geraniol (27.9 %) with a low fraction in Neral (0.4 %). However, the work of Wei *et al.* [25] revealed a small proportion of citronellol (4.8 %) in the essential oil of their chemotype. Recently in Burkina Faso, the essential oil extracted from *C. nardus* and analyzed during the work of Ouédraogo *et al.* [12] was rich in Citronellal (30.58 %) and Geraniol (23.93 %) with zero Linalool content (0 %). Relatively to the hydrocarbon terpene element composition of the essential oil of *C. nardus*, our results are in opposition to those obtained by Koba *et al.* [20]. Indeed, the essential oil of our chemotype was made up of more than 44 % of hydrocarbon monoterpenes against 1.9 % of the chemotype of the previous authors. The extract of lemon zests (*Citrus sp*), which is very little composed of oxygen-containing terpene molecules (10.37 %), was, however, very rich in hydrocarbon monoterpenes (89.63 %) with Limonene (59.36 %) and Pinene (19.42 %) strongly in the majority. Our results are therefore in line with those obtained by Boukabouche and Boudjefdjouf [26]. These authors showed that lemon zests contained high levels of Limonene and Pinene but were relatively low compared to our data. In Algeria, Ammad *et al.* [27] obtained an essential oil extracted from lemon zests rich in Limonene (61.68 %) with a considerable proportion of Neral (21.66 %). The lemon extract studied in this study contained only a small proportion of oxygenates with 10.37 % but higher than those obtained in India by Sharma and Abhishek [28].

The essential oil of the three aromatic plants each demonstrated an insecticidal potential against *P. gossypiella* during the 72 hours of the toxicological tests. The mortality of the pest insects was significantly dependent on the concentration of the

extracts of these plants. Our results confirm the biological activity of extracts of these plants highlighted by many authors [29], [30], [21], [31], [26]. Indeed, chemical analysis has revealed that these essential oils were strongly composed of monoterpene (hydrocarbon and oxygenated). This chemical composition would explain their insecticidal potential against this pest of cotton as Konstanpoulou *et al.* [32]. In fact, these authors had indicated that the biological activity of essential oils were closely related to their levels of monoterpenes.

The essential oil of *C. citratus* has had remarkable insecticidal efficiency on the pest. The toxicity of *C. nardus* extract was substantially similar to that of *C. citratus*. The insecticidal activity of these two plants belonging to the Poaceae family was much higher than that of *Citrus sp* essential oil, as according to lethal concentration data (LC₅₀ and LC₉₀). The chemical composition of these oils could provide a clear answer to this observation. Thus, when one refers to the data of the chemical analyses of these plants, one can notice that the insecticidal effectiveness of the essential oils was made according to their compositions in oxygenated monoterpenes. The essential oil extracted from *C. citratus*, which was the most toxic for the pest, contained a high content of oxygenated monoterpenes (73.71 %), followed by *C. nardus* extract at 46.59 % and finally *Citrus sp* extract, the least effective, had a low content of 10.37 %. Indeed, several authors who have studied the biological power of monoterpenoids in essential oils have revealed that oxygenated terpenoids have a higher potential ratio than non-oxygenated terpenoids [10], [33]. The best effectiveness of the essential oil of *C. citratus* could also be explained by the presence of oxygenated terpenoids such as α -Citral (31.89 %) and Neral (39.33 %). In 2005, Tchoumboungang *et al.* [11] reported that Citral was the most active ingredient in the essential oil of *C. citratus*. The insecticidal efficiency of the essential oil of *C. nardus*, which was found to be close to that of *C. citratus* with respect to *P. gossypiella*, it corroborates the results of Hernandez *et al.* [34]. Indeed, these authors, by their work relating to the evaluation of the essential oils of three plants of the genus *Cymbopogon* (*C. citratus*, *C. nardus* and *C. martinii*) on adults of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) and *Sitophilus zeamais* Motsch, found that the toxicity of these essential oils were all comparable to those pests tested. Moreover, the very low toxicity of the *Citrus sp* extract for *P. gossypiella* butterflies, despite its strong hydrocarbon monoterpene composition with Limonene dominance (59.36 %), is due to its low content of oxygenated compound (10.37 %). Limonene, the main compound of lemon zest oil, is therefore not very toxic to this pest.

5 CONCLUSION

The present study revealed that the essential oils extracted from the leaves of *C. citratus*, *C. nardus* and lemon fruit zests (*Citrus sp*) have biological activities on *P. gossypiella*. The essential oil of *C. citratus* was the most toxic on the insect. The toxicity of *C. nardus* extract was very similar to that of *C. citratus*. The insecticidal efficacy of lemon oil was low for the pest. The essential oil of *C. citratus* or even that of *C. nardus* could be used as a basic substance for the development of new botanical insecticides in cotton cultivation. Field tests could better confirm this.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this paper thank the Regional Project for Integrated Cotton Protection in Africa (PR-PICA), the National Center for Agricultural Research (CNRA) and the Félix HOUPOUËT-BOIGNY University (UFHB).

REFERENCES

- [1] H. S. Zagbaï, F. Berti et P. Lebailly, "Impact de la dynamique cotonnière sur le développement rural", Biotechnol. Agron. Soc. Environ., vol. 10, no. 4, pp. 325-334, 2006.
- [2] S.Y. Koffi, "Libéralisation de la filière coton en Côte d'Ivoire quinze ans après : empreinte spatiale et organisationnelle", Cinq Continents, vol. 3, no. 7, pp. 5-17, 2013.
- [3] N. O. Konan et G. Mergeai, "Possibilités d'amélioration de la principale espèce cultivée de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) pour la résistance au nématode réniforme (*Rotylenchulus reniformis* Linford et Oliveira)", Biotechnol. Agron. Soc. Environ., Vol. 11, no. 2, 2007.
- [4] H.H. Wu, M.S. Huang, P. Wan, A. G.W. Kris, and K.M. Wu, "Emergence, Mating and Oviposition Behavior of the Chinese Population in Pink Bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae)", Journal of Integrative Agriculture, vol. 12 no 4, pp. 653-662, 2013.
- [5] J. B. Dhara, V. B. Chinna, S. Naik, K.R. Kranthi, and R. Valarmathi, "viable mass production method for cotton pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders)", Journal of Basic & Applied Zoology, vol. 73, pp. 9-12, 2016.
- [6] Patil S.B.: « Studies on management of cotton pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) », Ph.D. thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad, 2003.

- [7] D. Badiane, M. T. Gueye, E. V. Coly et O. Faye, "Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal et en Afrique occidentale", Int. J. Biol. Chem. Sci., vol. 9, no. 5, pp. 2654-2667, 2015.
- [8] G. Fleischer, V. Andol, M. Coulibaly et T. Randolph, "Analyse socioéconomique de la filière des pesticides en Côte-d'Ivoire. Projet de politique des pesticides. Institut de sciences économiques", Faculté d'Horticulture, Université de Hanovre Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales de Côte-d'Ivoire, Hanovre/Abidjan.RCI, p. 112, 1998.
- [9] T. Martin, O.G Ochou, N. F. Hala, J. M. Vassal and M. Vaissayre, "Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), in West Africa" Pest. Manag. Sci., vol. 56, pp. 549-554, 2000.
- [10] C. Regnault-Roger et A. Hamraoui, "Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allelochimiques", Acta Botanica Gallica, vol. 144, no. 4, pp. 401-412, 1997.
- [11] F. Tchoumboungang, J. P. M. Dongmo, M. L. Sameza, N. E.G. Mbanjo, G.B.T. Fotso, Z. P. H. Amvam et C. Menut, "Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun", Biotechnol. Agron. Soc. Environ., vol. 1, no. 13, pp. 77-84, 2014.
- [12] I. Ouédraogo, A. Sawadogo, R.CH Nebie et D. Dakouo, "Evaluation de la toxicité des huiles essentielles de *Cymbopogon nardus* (L) et *Ocimum gratissimum* (L) contre *Sitophilus zeamais* Motsch et *Rhyzopertha dominica* F, les principaux insectes nuisibles au maïs en stockage au Burkina Faso", Int. J. Biol. Chem. Sci., vol. 10, no. 2, pp. 695-705, 2016.
- [13] R. Belguendouz, C. Harchouche, M. Biche et Z. Houmani, "Evaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle de *Citrus aurantium* (Rutacées) sur la dynamique des populations de *Parlatoria ziziphi* Lucas. (Homoptera, Diaspididae)", Revue des Régions Arides, Numéro Spécial - n° 35 (3/2014), Actes du 4ème Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasiennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides, 2013.
- [14] R. Patana, "Layered Diet for Pink Bollworm Rearing, U.S. Departement of Agriculture", Agricultural Research Service, ARS W-"47, p. 10, 1977.
- [15] K. C. Kobenan, V. E. Tia, G. E. C. Ochou, M. Kouakou, K. K. N. Bini, M. Dagnogo, A. E. Dick et O. G. Ochou, "Comparaison du potentiel insecticide des huiles essentielles de *Ocimum gratissimum* L. et de *Ocimum canum* Sims sur *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera : Gelechiidae), insecte ravageur du cotonnier en Côte d'Ivoire", European Scientific Journal, Vol. 14, No. 21, 2018.
- [16] P. Kaan, C.K. Ömer, Y. Yasemin, G. Salih, D. Betül, D. Fatih, and C.B. Kemal, "Insecticidal activity of *Salvia veneris* Hedge, essential oil against coleopteran stored product insects and *Spodoptera exigua* (Lepidoptera)", Industrial Crops and Products, vol. 97, pp. 93-100, 2016.
- [17] H. H Wu, K. M Wu, D. Y. Wang and Y. Y. Guo, "Flight potential of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae)", Environmental Entomology, vol. 35, pp. 887-893, 2006.
- [18] W.S. Abbott, "A method for computing the effectiveness of an insecticide", J. Econ. Entomol., Vol. 18, pp. 265-267, 1925.
- [19] DJ. Finney, "Probit Analysis", 3rd ed., Cambridge University Press, London, 1971.
- [20] K. Koba, K. Sanda, C. Guyon, C. Raynaud, JP. Chaumont and L. Nicod, "In vitro cytotoxic activity of *Cymbopogon citratus* L. and *Cymbopogon nardus* L. essential oils from Togo", Bangladesh J Pharmacol; vol.4, pp. 29-34, 2009.
- [21] P. A. Ntonga, N. Baldovini, E. Mouray, L. Mambu, P. Belong and P. Grellier. "Activity of *Ocimum basilicum*, *Ocimum canum*, and *Cymbopogon citratus* essential oils against *Plasmodium falciparum* and mature-stage larvae of *Anopheles funestus* s.s", Parasite, vol. 21, no. 33, 2014.
- [22] S. Kpoviessi, J. Bero, P. Agbani, F. Gbaguidi, B. Kpadonou-Kpoviessi, B. Sinsin, G. Accrombessi, M. Frédérick, M. Moudachirou and J. Quetin-Leclercq, "Chemical composition, cytotoxicity and in vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activity of the essential oils off our *Cymbopogon* species from Benin", Journal of Ethnopharmacology, 2013.
- [23] N.M. Kouame, M. Kamagate, C. Koffi, H.M. Die-Kakou, N.A.R. Yao, et A. Kakou, "*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: ethnopharmacologie, phytochimie, activités pharmacologiques et toxicologie", Phytothérapie, DOI 10.1007/s10298-015-1014-3, 2015.
- [24] E. H Chisowa, D. R. Hall and D. Farman, "Volatile Constituents of the Essential Oil of *Cymbopogon citratus* Stapf grown in Zambia", flavour and fragrance journal, vol. 13, pp. 29-30, 1998.
- [25] L. S. Wei and W. Wee, "Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon nardus* citronella essential oil against systemic bacteria of aquatic animals", Iran J. Microbiol., vol. 5, no. 2, pp. 147-152, 2013.
- [26] Boukabache, M. et Boudjefdjouf, F. Z. : « Extraction, identification de l'huile essentielle par CPG-SM de l'espèce *Citrus limon* et mise en évidence de son activité antibactérienne », Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Métabolisme secondaire et molécules bioactives, 2016.

- [27] F. Ammad, O. Moumena, A. Gasem, S. Othmane, K. N. Hisashi, B. Zebib and O. Merah, "The potency of lemon (*Citrus limon* L.) essential oil to control some fungal diseases of grapevine wood", C. R. Biologies, <https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.01.003>, 2018.
- [28] N. Sharma and T. Abhishek, "Effects of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) Van Tieghem", Microbiological Research, vol. 163, pp. 337-344, 2008.
- [29] M. Lidianne, "Evaluation of central nervous system effects of *Citrus limon* essential oil in mice", Brazilian Journal of Pharmacognosy, pp. 671-672, 2011.
- [30] Soares, M. O., Vinha, A. F., Barreira, S.V.P. and Coutinho, F., *Cymbopogon citratus* EO antimicrobial activity against multi-drug resistant Gram-positive strains and non- *Candida albicans*-species, in: Méndez-Vilas, A. (Ed.), Microbial Pathogens and Strategies for Combating Them: Science, Technology and Education-Formatex Research Center, pp. 1081-1086, 2013.
- [31] S.V. Ambade and B.J. Bhadbhade, "In-vitro comparaisn of antimicrobial activity of different extracts of *Cymbopogon citratus* on dental plaque isolates", Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci., vol. 4, pp. 672-681, 2015.
- [32] L. Konstantopoulou, L. Vassilopoulou, T.P. Mauragani and Z.G. Scouras, "Insecticidal effects of essential oils. A study of the effects of essential oils extracted from eleven Greek aromatic plants on *D. auraria*" Experientia, vol. 48, no. 6, pp. 535-619, 1992.
- [33] R. Pavela, "Insecticidal Properties of Several Essential Oils on the House Fly (*Musca domestica* L.)", phytotherapy research, vol. 22, pp. 274-278, 2008.
- [34] L. R. Hernandez, C. N. Pajaro, K. Caballero-Gallardo, E. Stashenko and J. Olivero-Verbel, "essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural", Journal of Stored Products Research, vol. 62, pp. 81-83, 2015.

أثر التجارة البينية ضمن نفس الصناعات بين الصين و الدول العربية على النمو الاقتصادي

[The impact of intra-industry trade between China and the Arab countries on economic growth]

عفاف سقي

كلية العلوم الاقتصادية والتصرف صفاقس، تونس

Souguir Afef

Unit of Dynamic Economic and Environmental Research, (URDEE),
University of Sfax, Faculty of Economics Sciences and Management,
Sfax, Tunisia

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study is to estimate the impact of intra-industry trade between 14 Arab countries and China on economic growth, over the period from 2000-2012, using panel data and the method of generalized moments estimation developed by Blundell and Bond (1995). The econometric analysis reveals that intra-industry trade affect positively and significantly economic growth of the sampled countries; the results also indicate the positive and significant effect of trade openness between Arab countries and China on economic growth of sample 14 Arab countries.

KEYWORDS: Intra-industry trade, dynamic panel data, General Moments Method (GMM).

الخص: استهدفت هذه الدراسة تقدير أثر التجارة البينية ضمن نفس الصناعات بين 14 دولة عربية و الصين على النمو الاقتصادي خلال الفترة من عام 2000 إلى عام 2012. ولتحقيق هدف الدراسة تم استخدام نموذج ديناميكي لبيانات بانل يمزج بيانات السلاسل الزمنية مع بيانات المقاطع العرضية و لتقدير هذا النموذج تم استخدام طريقة العزوم المعممة GMM-sys المقترحة من (1995) Bond, Blundell. تحليل الاقتصاد القياسي يشير إلى أن التجارة البينية أثرت إيجابيا (غير معنوي) على النمو الاقتصادي للدول المكونة للعينة، النتائج تشير أيضا إلى التأثير الإيجابي و المعنوي للانفتاح التجاري بين الصين و الدول العربية على النمو الاقتصادي.

كلمات دلالية: التجارة البينية، بيانات بانل ديناميكية، طريقة التقدير للعزوم المعممة.

1 تقديم

النظرية القائلة بأن التجارة بط إيجابيا بالنمو الاقتصادي تعود إلى آدم سميث Adam Smith ، الذي جادل في أن التجارة يمكن أن تزيد من التخصص. زيادة التخصص تتيح تحقيق وفورات الحجم، خاصة بالنسبة للبلدان التي لديها أسواق محلية صغيرة نسبيا. كما أن موارد الإنتاج الوفيرة في بلد معين ستعمل بالكامل عند تحرير التجارة. ضطر الشركات المحلية لتحسين قوتها بسبب منافسة الواردات. وبالإضافة إلى ذلك، المزيد من الاندماج الاقتصادي مع العالم الخارجي يشجع الابتكار التكنولوجي من خلال نشر التكنولوجيات الجديدة للبلدان الأكثر قدما. زيادة الواردات يعيق الاحتكارات الوطنية التي بقي الإنتاج دون المستوى الأمثل مع أسعار منخفضة.

وسعت و زادت الأبحاث في العقود الأخيرة، و حديدا في اتجاه إبراز والتأكيد على الآثار الدينامكية للتجارة الدولية. طوير النظرية التي قدمها نماذج النمو الاقتصادي الداخلي endogenous economic growth (خصوصا بعد نشر كل من مقالة رومر (1986) Romer و لوكاس (1988) Lucas)، حفز خلقا من الدراسات التجريبية، وانتقل إلى تحليل متكامل من نظريات النمو الاقتصادي و التجارة الدولية.

وقد أصبح تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والانفتاح موضوعا للعديد من الدراسات التجريبية (انظر على سبيل المثال، الدراسات الاستقصائية لبلدوين Baldwin (2003) و رودريغيز Rodriguez (2006)). وقد وجدت بعض الدراسات علاقة إيجابية بين الانفتاح والنمو في الناتج المحلي الإجمالي. ومع ذلك، فقد أظهرت العديد من الدراسات أن الانفتاح لم يسارع النمو الاقتصادي. وجدت فكرة جديدة في خط الأد أن الاقتصاديات التي هي أكثر انفتاحا على التجارة و دفقات رأس المال لديها

من الناجح المحلي الإجمالي للفرد الأعلى (انظر على سبيل المثال دولار Dollar (1992)، ادواردز Edwards (1993)، Sachs et Warner (1995)، كوين Quinn (1997)، فرانكل ورومر Frankel et Romer (1999)، دولار وكراي Dollar et Kraay (2000)، Bekaert, Harvey et Lundblad (2001)، Wacziarg et Welch (2008)). وأظهرت الدراسات التي أعدها كل من Grilli et Milesi-Ferretti (1995)، Quinn (1998) أن الانفتاح ليس له أي تأثير على النمو الاقتصادي.

في هذا السياق و على ضوء العلاقات العربية الصينية المثينة و العريقة و التي هي في طور و قد قدم، نطرح السؤال حول طبيعة العلاقة بين الانفتاح التجاري، الذي يجسده أداء التجارة ضمن نفس الصناعة، والنمو الاقتصادي. و بغر □ الإلمام بجوانب الموضوع □ بعنا المنهجية التالية:

القسم الثاني : التعريف بالتخصص في التجارة الدولية

القسم الثالث □ طور مؤشر التجارة البينية الصينية-العربية خلال الفترة (2000-2012)

القسم الرابع : دراسة طبيعة العلاقة بين التجارة البينية و النمو الاقتصادي في 14 دولة عربية خلال الفترة (2000-2012)، بالاستعانة ببرنامج STATA 13 في □ فريغ و □ تحليل البيانات.

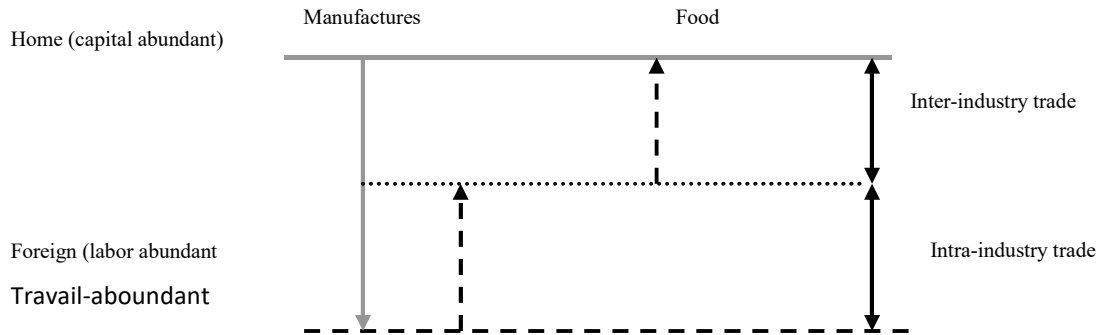
2 التخصص في التجارة الدولية

النظريات التقليدية □ شير إلى التخصص الدولي الذي يؤدي إلى اقتصاد مفتوح لتصدير البضائع التي □ مثلك ميزة نسبية (comparative advantage) من □ بطة بالثروات الأساسية لها □ الدول المصدرة ، واستيراد فقط السلع التي لا يمكن أن □ نتج بكفاءة (Comparative disadvantage). و التي □ طور □ حديدا □ جارة لها سمات مختلفة (Inter-industry trade) و □ زيد من رفاهية الدولة ككل . و لكن في هذه النظرية، الانفتاح التجاري ليس له □ تأثير على معدل النمو على المدى الطويل. من خلال منظور عملي □ نمو التجارة بين بلدان مماثلة، و الغالبية العظمى من التجارة العالمية □ تكون من المنتجات المماثلة. هذه الحقيقة الهامة □ شير إلى أن النموذج Hecksher - Ohlin قد لا يكون كافيا لشرح هيكل التجارة. لذلك كان النموذج دافعا لظهور نظريات أخرى للتجارة الدولية.

أولا، استنادا إلى نظرية آدم سميث Adam Smith (1776)، و كروغمان Krugman (1979)، و لانكستر Lancaster (1980)، و هليمان Helpman (1981)، و Etheier (1982)، بين آخرين، إضفاء فكرة وفورات الحجم الكبير (Economies of scale) عن زيادة □ قسيم العمل هي من أسباب □ التبادل التجاري. و □ وفر هذه النماذج □ فسيروا واضحا لوجود □ جارة، عادة ما □ كون في شكل □ جارة بينية ضمن نفس الصناعة بين البلدان المتقدمة مع □ قنيات و عوامل إنتاج مماثلة.

ثانيا، كان هناك إدراك متزايد لأهمية جودة المنتجات في التجارة الدولية. على سبيل المثال، (Flam and Helpman 1987) طوروا نموذج التجارة بين الشمال والجنوب □ في الجودة التي □ برز في دالة المنفعة للفرد. وبافترا □ أن أغنى الدول لديها ميزة نسبية في إنتاج السلع ذات جودة أعلى، النموذج يكشف □ داخل □ وزرع الدخل بين البلدان الفقيرة والغنية كمصدر للتبادل.

في الواقع، قد خلق □ تحرير التجارة التغيرات في التدفقات التجارية والتخصص. وفقا لخصائص □ حد كتجارة مشتركة بين الصناعات أو □ جارة بينية ضمن نفس الصناعة (انظر الشكل 1) :



الشكل 1 التجارة البينية ضمن نفس الصناعة و بين الصناعات

المصدر: Krugman, Paul R. and Obstfeld (1996)

كما هو موضح في الشكل أعلاه □ حدث □ جارة بين الصناعات في منتجات متجانسة (Food) بما أن البلد الأجنبي فقط هو الذي يصدر هذه المنتجات. هناك أيضا التجارة بين الصناعات في منتجات متباينة (Manufactures). ومع ذلك، فإن البلد المحلي والبلد الأجنبي هما المصدران والمستوردان للسلع المتباينة، وبالتالي فإن التجارة البينية ضمن نفس الصناعة و التجارة بين الصناعات يمكن أن □ حدثا في هذا النموذج.

3 تطور التجارة البينية ضمن نفس الصناعة

3.1 قياس التجارة البينية ضمن نفس الصناعة

يتم تعريف التدفقات التجارية ضمن نفس الصناعات (intra-industry trade, IIT) كما هو سائد بادل البضائع في الإجهامين (two-way exchange) داخل التصنيفات الصناعية القياسية الدولية (Standard International Trade Classification, SITC). يتم قياس حجم التجارة البينية ضمن نفس الصناعة عادة بواسطة مؤشر Grubel-Loyd (GL) على أساس معاملات المجموعات السلعية. وهكذا، على أي فئة معينة من المنتجات (i) أعطى مؤشرا لمدى التجارة البينية ضمن نفس الصناعة في هذه الفئة من المنتجات (i) بين البلدين المتشاركين (A and B) من قبل النسبة التالية :

$$GL_{i,AB} = 1 - \frac{|X_{i,AB} - M_{i,AB}|}{X_{i,AB} + M_{i,AB}} \quad (1)$$

حيث أن :

$X_{i,AB}$ = يمثل نصيب الدولة A من الصادرات من الدولة B من التجارة البينية ضمن نفس الصناعة في المنتجات (i) خلال فترة زمنية معينة.
 $M_{i,AB}$ = يمثل نصيب الدولة B من الصادرات من الدولة A من التجارة البينية ضمن نفس الصناعة في المنتجات (i) خلال فترة زمنية معينة.

يقيس هذا المؤشر كثافة أو نسبة التجارة البينية ضمن نفس الصناعة في المنتجات (i) مع البلد الشريك. ويمتد هذا الإجراء بين الصفر والواحد، والقيمة الأولى (صفر) تمثل التجارة بين الصناعات، يعني $X_{i,AB} = 0$ أو $M_{i,AB} = 0$ إذن $GL_{i,AB} = 0$. القيمة الثانية دل على التجارة ضمن نفس الصناعة، أي $X_{i,AB} = M_{i,AB}$ وبالتالي $GL_{i,AB} = 1$. ولتفسير مستويات التجارة البينية ضمن نفس الصناعة أنظر الجدول (1):

جدول 1. تفسير مستويات التجارة البينية ضمن نفس الصناعة

Niveau 1	$GL_i > 0,334$	Evidence du commerce intra-industriel
Niveau 2	$0,10 \leq GL_i \leq 0,33$	Potentiel du commerce intra-industriel
Niveau 3	$GL_i < 0,10$	Relation inter-industriel

المصدر: Duran and Alvarez (2008), p. 32

خلال هذه الدراسة نقيس التجارة البينية ضمن نفس الصناعة داخل التصنيف العالمي الموحد ((1-digit SITC (0-9) كما هو مبين في الجدول التالي :

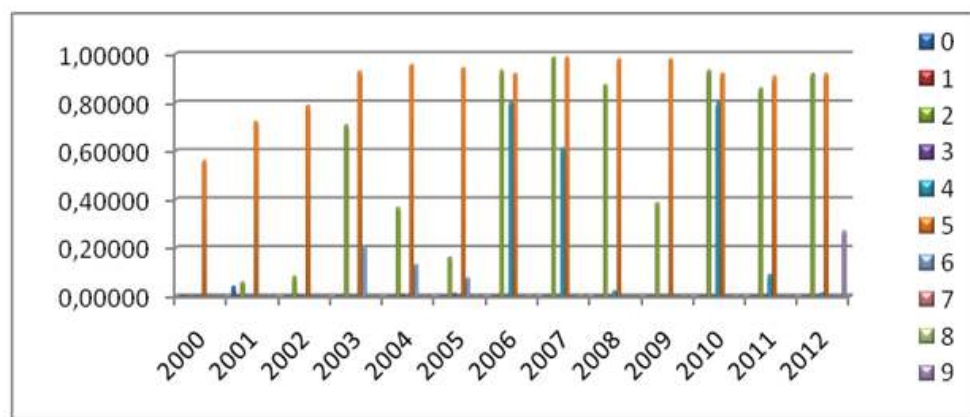
جدول 2. التصنيف العالمي الموحد ((1-digit SITC (0-9)

Industry	Code رقم	الشعبة
Food & Live Animals	0	المواد الغذائية والحيوانات الحية
Beverage & Tobacco	1	المشروبات والتبغ
Crude materials inedible except fuels	2	المواد الخام غير الغذائية ،
Mineral Fuels Lubricants & related materials	3	الوقود المعدني وزيت التشحيم و المواد المشابهة
Animal & Vegetable Oils and fats	4	الزيوت والشحوم الحيوانية والنباتية المنشأ
Chemicals	5	المواد والمركبات الكيميائية
Manufactured Goods Classified chiefly by materials	6	البضائع المصنعة و المصنفة حسب مادة الصنع
Machinery & Transport equipment	7	آلات و معدات النقل
Miscellaneous Manufactured Articles	8	الأجهزة و اللوازم الجاهزة
Commodities & Transactions not classified	9	البضائع والصفقات التي لم تصنف حسب النوع

عند قياس المؤشر GL للتبادل التجاري الصيني مع كل دولة عربية على مدى الفترة (2000-2012) لكافة المنتجات وعلى مستوى 1-digit level (0-9) نجد أن هناك منتجات محددة من المحتمل أن تكون لها فرصة لخلق جارة داخل الصناعة بشكل متفاوت نسبياً (أوضح الجداول الملحق رقم 1، نتائج المؤشر GL لكل الدول العربية المشمولة بالتحليل).

3.2 أهم المنتجات التي ساهمت في حراك التجارة البينية الصينية-العربية لكل دولة على حدة

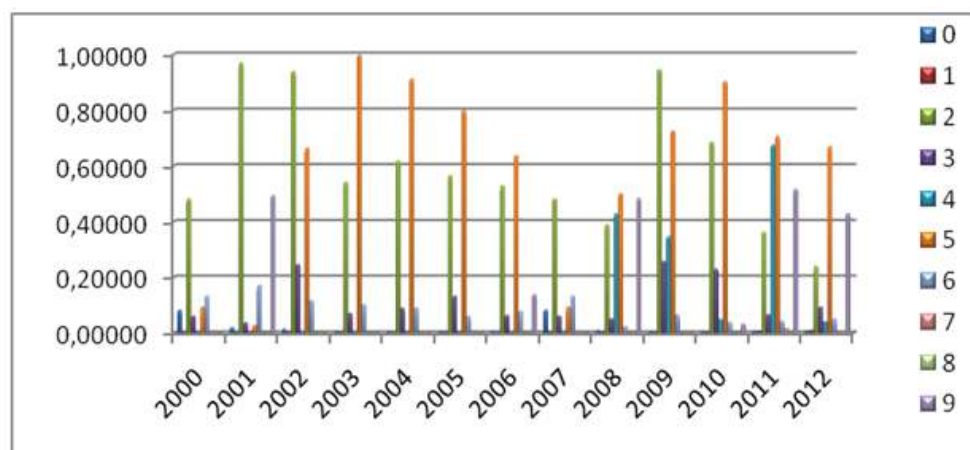
ونستعرض فيما يلي تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة، وما طرأ عليها من متغيرات، بين الصين و الدول العربية المشمولة بالتحليل لتحديد المنتجات التي ساهمت في هيكلية التجارة البينية طيلة الفترة المذكورة



الشكل 2. تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و الأردن خلال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

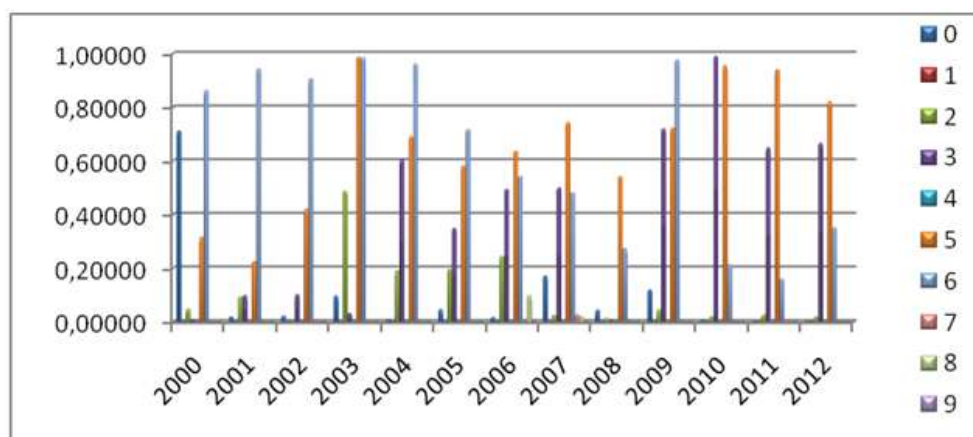
من خلال الشكل نلاحظ بروز ثلاثة منتجات مثل التجارة البينية بين الصين و الأردن. المؤشر GL يعكس التجارة البينية بامتياز لمنتجات المواد و المركبات الكيماوية (رمز 5) على مدى الفترة موضوع الدرس. إذ لم تنزل قيمة المؤشر GL تحت 0,5. يليه مؤشر منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) الذي شهد انتعاشة على مدى الفترة (2012-2006) باستثناء عام 2009 حيث انخفض إلى 0,38. ثم نجد منتجات الزيوت و الشحوم الحيوانية و النباتية المنشأ (رمز 4) في المرتبة الثالثة من حيث قيمة المبادلات التجارية البينية، إذ تجاوزت قيمة مؤشر هذه المنتجات 0,6 سنة 2006, 2007, 2010. لكن بقية الفترة (2012-2000) صنفت المبادلات في المنتجات (رمز 4) كتجارة بين الصناعات (inter-industry trade).



الشكل 3. تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و الإمارات خلال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

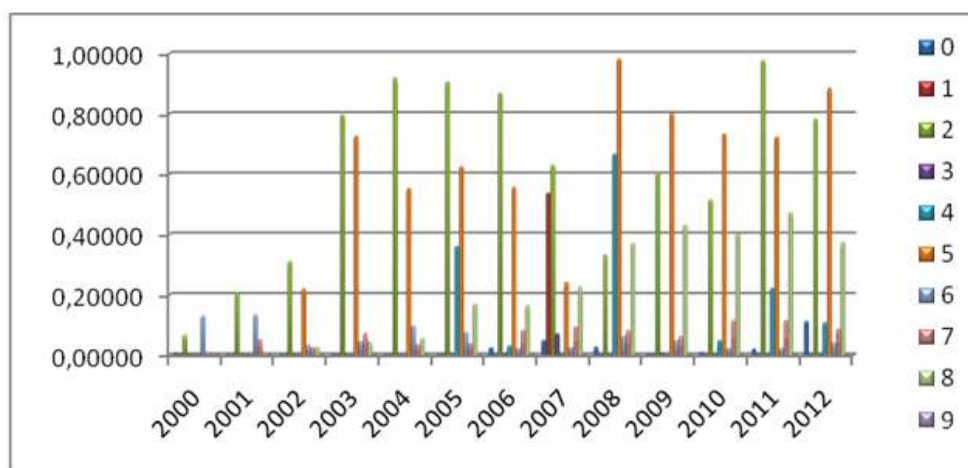
أربعة منتجات رئيسية ساهمت في حراك التجارة البينية بين الإمارات و الصين. تعتبر منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) و منتجات المواد و المركبات الكيماوية (رمز 5) الأكثر فاعلية في هذه المبادلات. لديها منتجات (رمز 4) و منتجات البضائع و الصفقات للمواد التي لم تصنف حسب النوع (رمز 9). شهد مؤشر GL لمنتجات المواد الكيماوية فترة من التطورات المهمة بداية من 2002 حتى 2012 سجل فيها أعلى قيمة له (0,99) عام 2003 و أدنى قيمة (0,38) عام 2007.



الشكل 4 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و البحرين لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

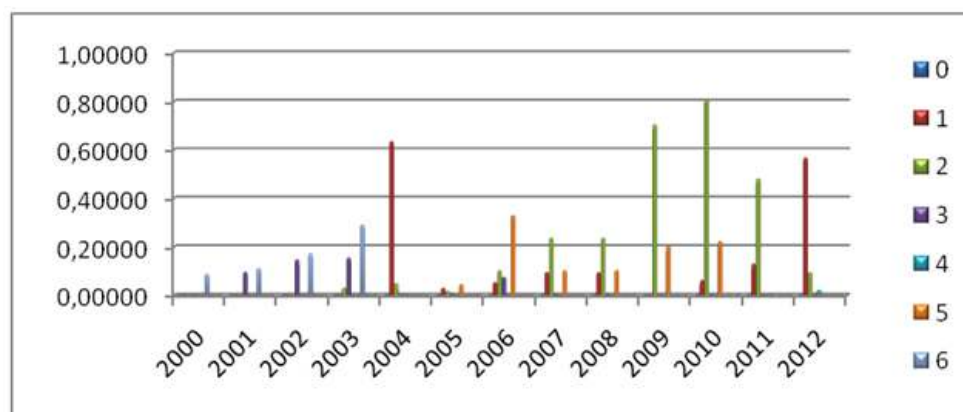
شهدت البحرين المؤشرات الأعلى قيمة، إذ بلغ مؤشر منتجات الوقود المعدني و زيوت التشحيم و المواد المشابهة (رمز 3) 0,988 عام 2010، لكن هذا المؤشر غير مستقر فتجده يرفع ثم ينخفض. صنفت المبادلات التجارية للمنتجات (رمز 3) كتجارة بينية بداية من عام 2004. كذلك مؤشر المواد و المركبات الكيماوية (رمز 5) وصل إلى أعلى مستوياته عام 2003 (بقيمة 0,987) و لم ينخفض بعدها حتى 0,5. راجح مؤشر منتجات البضائع المصنعة و المصنفة حسب مادة الصنع (رمز 6) بين 0,481 و 0,985 على مدى الفترة 2000-2007 ليشهد بعدها انخفاضا حادا في الفترة (2008-2012) باستثناء عام 2009 يرفع فجأة ليصل إلى مستواه الأول (0,977) ثم ينخفض لينزل إلى أدنى قيمة (0,160). هذه المؤشرات عكس لنا هيكل التجارة البحرينية-الصين هي كاملية و ليست نافسية.



الشكل 5 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و تونس لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

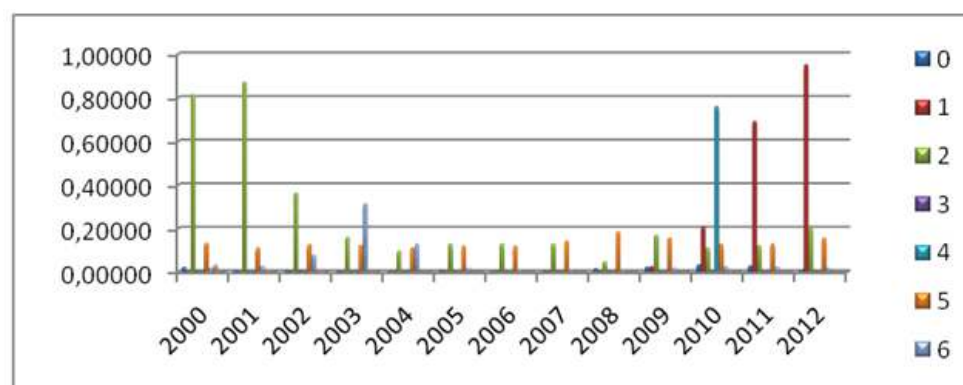
يوضح الرسم البياني حراك التجارة البينية التونسية-الصينية وينحصر التبادل التجاري ضمن نفس الصناعات في المواد و المركبات الكيماوية (رمز 5) و المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) و راجحت مؤشرات هذه المنتجات بين (0,5 و 0,9) على مدى الفترة 2000-2012 باستثناء سنة 2007 مؤشر منتج (رمز 5) نزل إلى 0,24 و نزل مؤشر منتج (رمز 2) إلى 0,33 سنة 2008. و جذر الإشارة إلى بروز منتجات أخرى ابتداء من عام 2005 لكن مؤشر هذه المنتجات لم يرفق بعد إلى القيمة المطلوبة حتى ندرجها ضمن المبادلات التجارية البينية باستثناء مؤشر منتج رمز 1 سجل القيمة القياسية له (0,537) و مؤشر منتج رمز 4 سجل قيمة أعلى (0,666) عام 2008. و خلال الفترة (2008-2012) ساهمت منتجات الأجهزة و اللوازم الجاهزة في ضخيم التجارة البينية بقيمة مؤشر GL راجحت بين 0,47 و 0,37. ونذكر أيضا أن الوضع الاجتماعي و الاقتصادي و السياسي للبلاد لم يؤثر سلبا على حجم التجارة البينية بين الصين و تونس.



الشكل 6: تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و الجزائر خلال الفترة (2000-2012)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

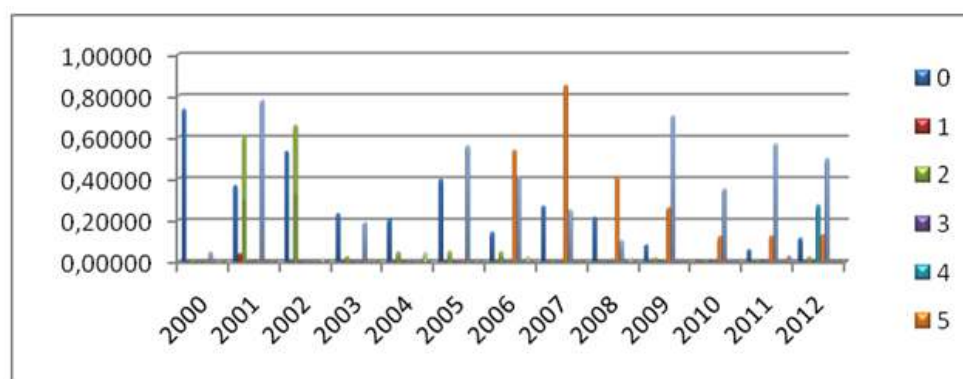
شهدت الجزائر ارتفاعاً فجئياً في مؤشر منتج المشروبات و التبغ المصنف ضمن (رمز 1) عام 2004 قدر بقيمة 0,635 ثم بدأ في الانخفا حتى عام 2011 ليضع مرة أخرى و يصل إلى 0,568 عام 2012. لاحظنا أيضاً وجود جارة بينية في منتجات المواد الخام غير الغذائية المصنفة ضمن (رمز 2). بقي مؤشر منتجات (رمز 2) في زائد مستمر من سنة 2006 حتى يصل إلى أعلى قيمة له عام 2010 قدرت بـ 0,812 ليعود إلى الانحدار مرة أخرى. بالنسبة لباقي المنتجات لم نلاحظ وجود جارة بينية بين الطرفين (الصين و الجزائر) إذ لم تتجاوز مؤشرات هذه المنتجات 0,328.



الشكل 7: تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و السعودية خلال الفترة (2000-2012)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

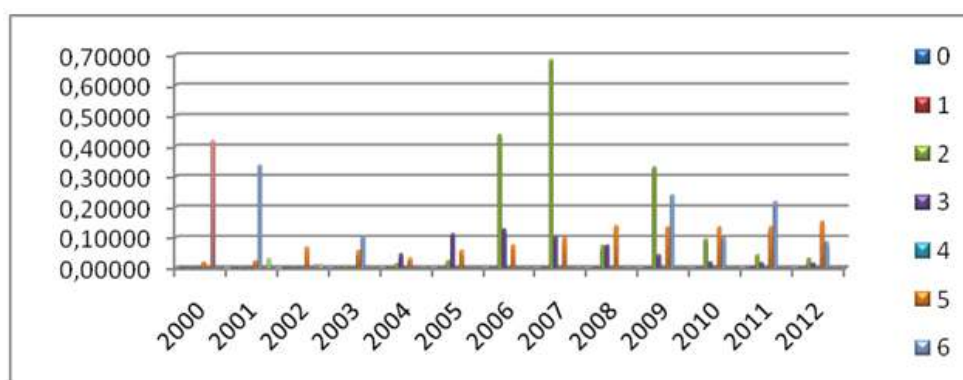
يبين لنا الشكل 7 بعض محاولات السعودية في التجارة البينية خلال فترتين متفرقتين. في الفترة (2000-2002) ارتكزت المبادلات ضمن نفس الصناعة على منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2). و في الفترة (2010-2012) ساهمت منتجات المشروبات و التبغ (رمز 1) في حراك التجارة البينية بين السعودية و الصين و سجل مؤشر GL القيمة الأعلى له (0,95) عام 2012. في نفس الفترة الثانية (عام 2010) لاحظنا ارتفاعاً فجئياً في مؤشر منتجات الزيوت و الشحوم الحيوانية و النباتية المنشأ (رمز 4) ليصل إلى 0,76. و باستثناء هذا الصعود المفاجئ عكس مؤشر منتجات رمز 4 المبادلات التجارية بين الصناعات بنسبة 100 % طيلة الفترة تحت الدراسة.



الشكل 8 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين وعمان لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

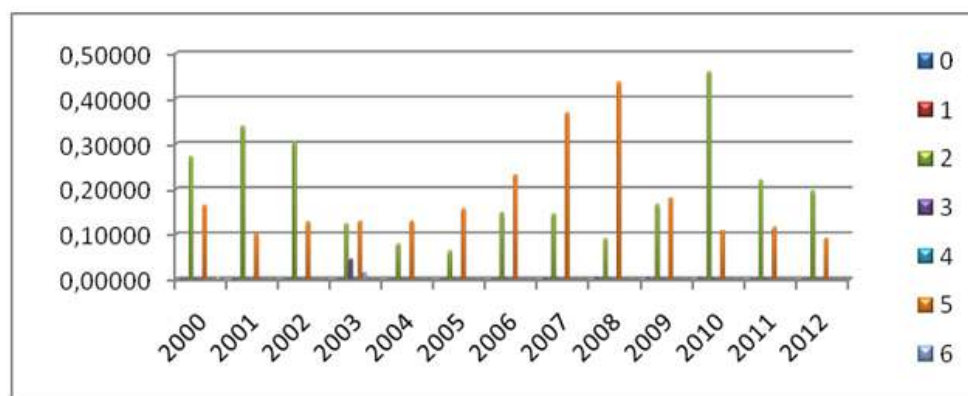
نلاحظ من خلال الشكل وجود أربع سلع عكس التجارة البينية بين البلدين (الصين و عمان) خلال فترات متقطعة و متفرقة. المواد الغذائية و الحيوانات الحية (رمز 0), و المواد الخام غير الغذائية (رمز 2), و المواد و المركبات الكيماوية (رمز 5) و البضائع المصنعة والمصنفة حسب مادة الصنع (رمز 6). في المقابل نجد بقية المنتجات عكس حجم العلاقات التجارية بين الصناعات (inter-industry trade).



الشكل 9 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين وقطر لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

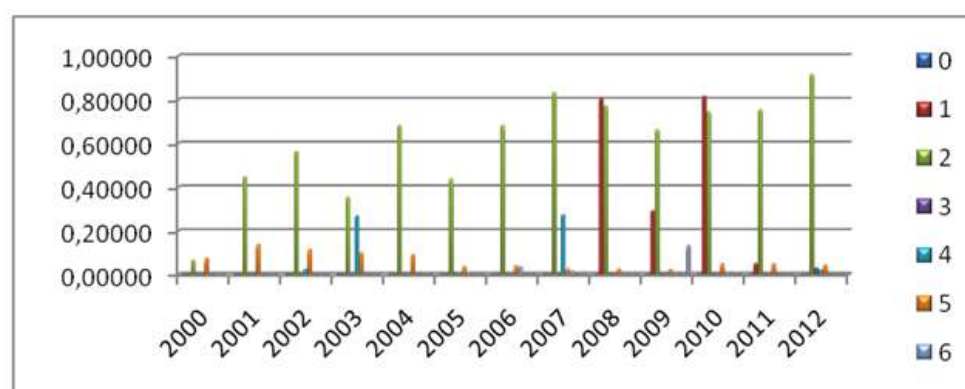
يبين لنا المؤشر GL أن المبادلات التجارية القطرية الصينية كانت بين الصناعات على مدى الفترة (2012-2000) بالنسبة لكل المنتجات باستثناء منتج المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) عام 2006 (GL=0,439) و عام 2007 (GL=0,684) و عام 2009 (GL=0,332). و عكست كل من منتجات الآلات و معدات النقل (رمز 7) التجارة البينية عام 2000 بقيمة مؤشر قدرته (0,419) و منتجات البضائع المصنعة و المصنفة حسب مادة الصنع (رمز 6) عام 2001 بقيمة مؤشر (0,338).



الشكل 10 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين والكويت خلال الفترة (2000-2012)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

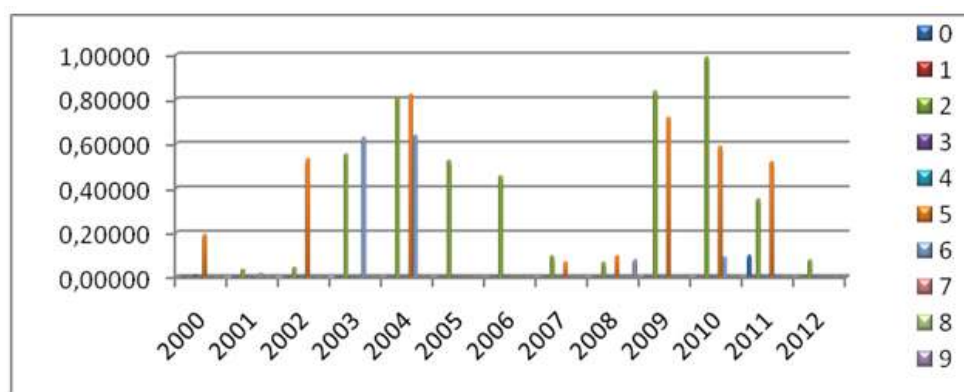
نلاحظ من خلال الشكل ضعف التبادل التجاري ضمن نفس الصناعات بين الصين والكويت والذي اركز على منتجين اثنين هما المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) والمواد الكيماوية (رمز 5). عكس المنتج الأول التجارة البينية بين الطرفين عام 2001 (GL=0,338) وعام 2010 (GL=0,459) كذلك عكس المنتج الثاني التجارة البينية في مناسبتين عام 2007 (GL=0,369) وعام 2008 (GL=0,436).



الشكل 11 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين ولبنان خلال الفترة (2000-2012)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

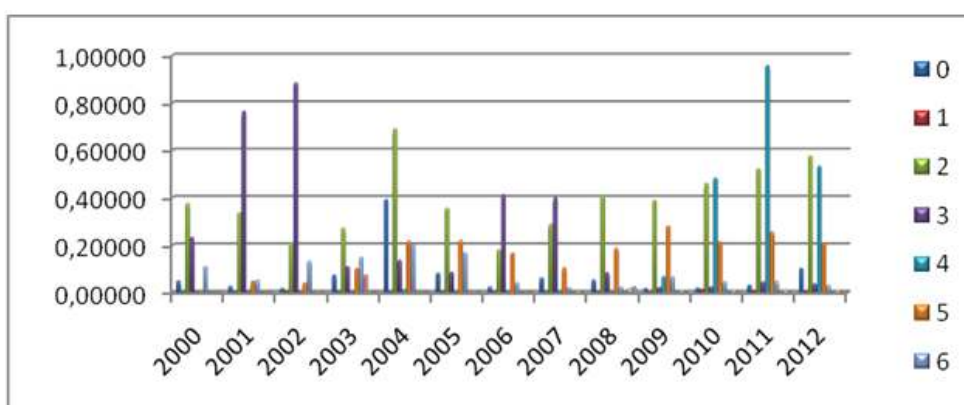
لعبت منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) دورا هاما في افاع حجم التجارة البينية بين الشريكين (الصين و لبنان) إذ لم تنزل قيمة مؤشر GL لهذا المنتج تحت 0,353 بداية من عام 2001 حتى نهاية الفترة تحت الدرس و سجل المؤشر القيمة الأعلى قدرت 0,915 في المقابل سميت الفترة (2008-2010) بظهور منتجات المشروبات و التبغ (رمز 1) و التي صنفت كتجارة بينية عام 2008 (GL=0, 808) و عام 2010 (GL=0, 815).



الشكل 12 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين وليبيا لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

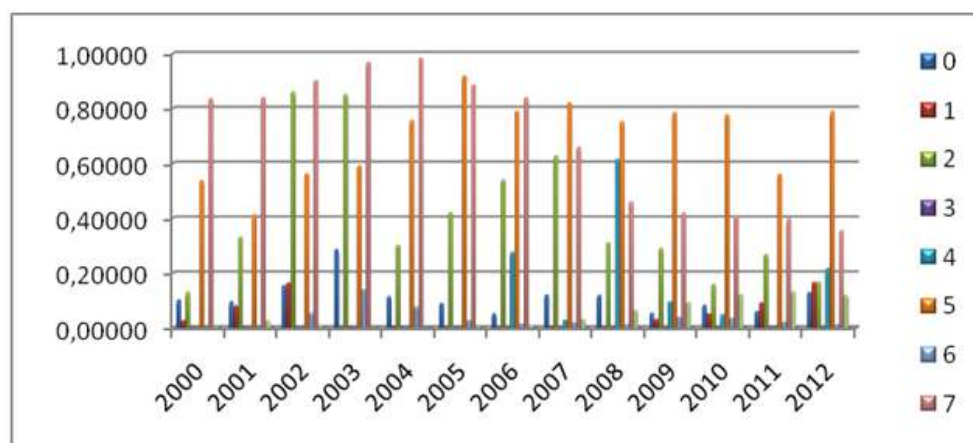
ثلاثة منتجات عكست الحراك التجاري ضمن نفس الصناعة بين الصين و ليبيا خلال سنوات متفرقة نستطيع أن نقسمها إلى فترتين متقطعتين. ساهمت كل من المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) و المواد و المركبات الكيماوية (رمز 5) و البضائع المصنعة و المصنفة حسب مادة الصنع (رمز 6) في إقناع حجم التجارة البينية على مدى الفترة الأولى (2006-2002) و التي سجل فيها مؤشر المنتج رمز 5 القيمة الأعلى قدرت (0,821). أما خلال الفترة الثانية (2009-2011) انحسرت التجارة البينية في المواد الكيماوية و المواد الخام غير الغذائية و التي سجلت أعلى قيمة للمؤشر GL (0,988) عام 2010. و جذر الإشارة إلى وجود انخفا حاد في قيمة مؤشرات كل المنتجات عام 2012 مما يعكس اثر الثورة الليبية على الوضع الاقتصادي (الداخلي و الخارجي) لهذا البلد.



الشكل 13 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين و مصر لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

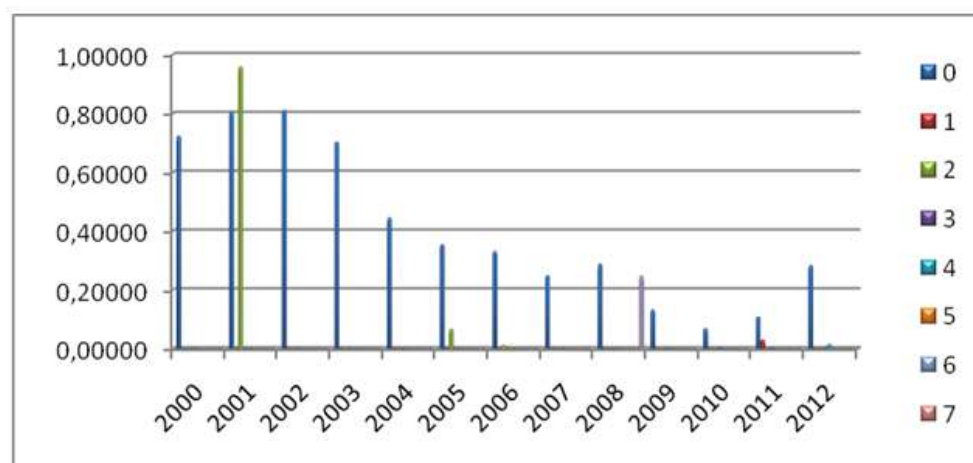
كباقي أغلب الدول العربية إكزت التجارة البينية بين مصر و الصين على منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) و رغم ذلك مؤشر GL إقجده برفع ثم ينخفض فقد حافظت هذه المنتجات على دورها في حراك التجارة ضمن نفس الصناعة طيلة الفترة تحت الدرس (2012-2000). و إسمت الفترة (2007-2000) بظهور منتجين اثنين إلى جانب المنتج رمز 2 : الوقود المعدني و زيوت التشحيم (رمز 3) عام (2001 و 2002 و 2006 و 2007) و منتجات المواد الغذائية و الحيوانات الحية (رمز 0) عام 2004. في المقابل شهدت الفترة (2010-2012) ازدهار التجارة ضمن نفس الصناعة مع ظهور, إلى جانب المنتج رمز 2, منتجات الزيوت و الشحوم الحيوانية و النباية المنشأ (رمز 4) و قد سجل مؤشر هذه المنتجات أعلى قيمة قدرت 0,957 عام 2011.



الشكل 14 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين والمغرب خلال الفترة (2000-2012)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

يتبين لنا من الشكل 14 مدى تطور التجارة البينية بين المغرب والصين و يتجلى ذلك في القيمة التي سجلها مؤشر GL طيلة الفترة (2000-2012) لكل من منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) و المواد الكيماوية (رمز 5) و الآلات و معدات النقل (رمز 7). أما منتجات الزيوت و الشحوم الحيوانية و النباتية المنشأ (رمز 4) فقد صنفت كتجارة بينية في مناسبة وحيدة و ذلك عام 2008 بقيمة مؤشر وصلت إلى 0,614 و دون الرجوع إلى الأرقام نلاحظ جيدا أن الفترة الأولى (2007-2000) على الفترة الثانية (2008-2012) من حيث كثافة التجارة ضمن نفس الصناعة. و من خلال الرسم البياني نلاحظ أن فاع قيمة مؤشر GL للمنتج رمز 7 و يكاد أن يصل إلى واحد عام 2004 حيث يمكن تصنيفه كتجارة بينية بنسبة 100% في تلك السنة.



الشكل 15 : تطور مؤشر التجارة ضمن نفس الصناعة بين الصين وإيطاليا خلال الفترة (2000-2012)

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

يتبين لنا من الشكل 15 أن المبادلات التجارية ضمن نفس الصناعة كز بالأساس على منتجات الأغذية و الحيوانات الحية (رمز 0) لكن هذه المنتجات لم تحافظ على خصوصيتها كتجارة بينية طيلة الفترة حيث الدرس إذ شهدت دهورا حادا في قيمة المؤشر لينزل تحت القيمة المطلوبة ($GL < 0,33$) بدءا من عام 2007 حتى نهاية الفترة عام 2012. أما منتجات المواد الخام غير الغذائية (رمز 2) ساهمت في حراك التجارة البينية في مناسبة وحيدة عام 2001 بقيمة مؤشر هي الأعلى (0,958).

4 أهمية التجارة البينية في النمو الاقتصادي للدول العربية

ولعله يكون من المفيد قبل المرور إلى النموذج القياسي و تحليل النتائج التجريبية تعديل قياس المؤشر GL في جميع المنتجات و التعرف على مدى تطور التجارة ضمن نفس الصناعة باستخدام بيانات السلاسل الزمنية لكل دولة على حدة. و من ثم ينقسم هذا البند إلى بندين فرعيين : أولهما تطور حجم التجارة البينية خلال الفترة المذكورة و ثانيهما تقدير النموذج الديناميكي المستخدم في التطبيق.

4.1 تطور التجارة البينية في جميع المنتجات

مؤشر GL في المعادلة (1) يمكن عدله لقياس التجارة البينية ضمن نفس الصناعة في جميع المنتجات (من منتجات رمز 0 إلى منتجات رمز 9) مع البلد B باعتباره القياس الوزني ل $GL_{AB,t}$ ويمكن كتابته على النحو التالي:

$$GL_{AB,t} = \sum_j \left[1 - \frac{|X_{AB,t} - M_{AB,t}|}{X_{AB,t} + M_{AB,t}} \right] \cdot \frac{(X_{AB,t} + M_{AB,t})}{X_{.At} + M_{.Bt}}$$

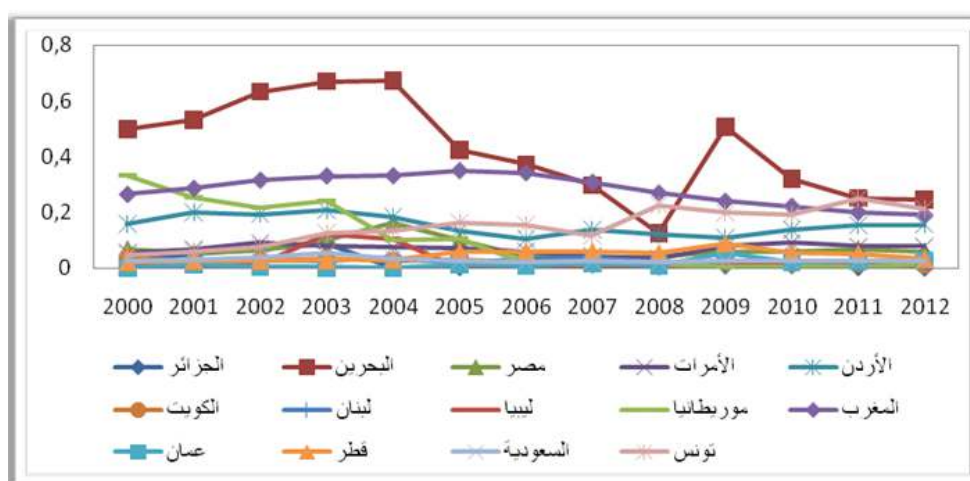
يقيس هذا المؤشر مدى داخل الصادرات والواردات لمجموعة معينة من المنتجات (أي عندما يتم صدير واستيراد نفس الفئة من السلع) وكمًا م الإشارة إليه سابقًا يتيح المؤشر GL القياس من 0 إلى 1 فإذا كانت 1 فهذا يدل على إمكانية عالية لتحقيق التجارة ضمن نفس الصناعة. الجدول 2.

جدول 3. التجارة البينية بين الصين و الدول العربية في السنوات (2012-2000)

الدول	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
الأردن	0,158	0,199	0,194	0,209	0,183	0,135	0,103	0,137	0,120	0,108	0,138	0,154	0,155
الإمارات	0,057	0,067	0,088	0,077	0,075	0,072	0,061	0,043	0,036	0,078	0,090	0,078	0,078
البحرين	0,499	0,529	0,632	0,669	0,672	0,422	0,372	0,297	0,123	0,507	0,319	0,250	0,244
ونس	0,044	0,059	0,075	0,124	0,134	0,163	0,153	0,115	0,225	0,197	0,192	0,249	0,212
الجزائر	0,026	0,050	0,068	0,087	0,001	0,003	0,016	0,013	0,006	0,010	0,010	0,003	0,001
السعودية	0,026	0,028	0,037	0,055	0,035	0,025	0,022	0,025	0,021	0,024	0,025	0,024	0,026
عمان	0,001	0,012	0,004	0,003	0,001	0,011	0,009	0,016	0,009	0,053	0,021	0,026	0,030
قطر	0,020	0,025	0,027	0,027	0,031	0,059	0,061	0,059	0,054	0,088	0,053	0,052	0,033
الكويت	0,038	0,022	0,026	0,034	0,027	0,028	0,023	0,025	0,018	0,020	0,018	0,017	0,013
لبنان	0,005	0,022	0,030	0,025	0,039	0,018	0,034	0,039	0,024	0,017	0,026	0,023	0,024
ليبيا	0,013	0,002	0,012	0,120	0,102	0,000	0,001	0,001	0,001	0,008	0,017	0,007	0,001
مصر	0,068	0,054	0,061	0,100	0,163	0,101	0,043	0,033	0,042	0,057	0,056	0,069	0,060
المغرب	0,265	0,286	0,316	0,331	0,332	0,350	0,343	0,309	0,270	0,240	0,222	0,201	0,191
موريتانيا	0,334	0,255	0,216	0,240	0,099	0,104	0,017	0,013	0,010	0,005	0,003	0,003	0,010

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

بتهاوي قيمة مؤشر التجارة البينية إلى 0,123 عام 2008 و على الرغم من نذبها وراجعها، فقد حافظت البحرين على قدمها و دورها في تعزيز الحراك التجاري ضمن نفس الصناعة (العربي مع الصين) على مدى الفترة (2012-2000). فالمغرب بقيمة مؤشر راوحت بين 0,191 عام 2012 و 0,35 عام 2005. لنجندونس في الموقع الثالث بقيمة مؤشر لم يتجاوز 0,249 بعدد فوقها على موريتانيا بداية من عام 2004 ثم الأردن عام 2005. في المقابل سجلت باقي الدول العربية موضوع الدرس مساهمات ضعيفة جدا كاد نعدم في المعاملات التجارية البينية بين الطرفين، العرب و الصين، (أنظر الشكل 16).



الشكل 16: تطور مؤشر التجارة البينية في جميع المنتجات بين الدول العربية و الصين لال الفترة (2012-2000)

المصدر : من إعداد الباحثة بالاعتماد على الجدول 3

الأمر المهم المطلوب التحقق منه الآن هو : هل ساهمت التجارة البينية بين الصين و الدول العربية في تعزيز النمو الاقتصادي للدول العربية على مدى الفترة (2000-2012) ؟, للإجابة على هذا السؤال الجوهرى نستخدم على نتائج الدراسة التالية.

4.2 النموذج القياسي و تقدير النتائج

يتناول هذا الجزء وضوحاً مفصلاً للمنهجية التي سيتم الاعتماد عليها من أجل تحديد آثار التجارة البينية بين الصين و الدول العربية على النمو الاقتصادي لهذه الدول ، كما سيضم هذا الجزء وضوحاً لمتغيرات الدراسة و النموذج القياسي المستخدم ، إضافة إلى تحليل أبرز متغيرات الدراسة.

يعر I النموذج تأثير التجارة البينية و غيرها من المتغيرات على النمو الاقتصادي للفرد الواحد.

(I)

$$g(y)_{A,t} = \alpha_1 g(y)_{A,t-1} + \alpha_2 \log GL_{A,t} + \alpha_3 \log GDP_{A,t} + \alpha_4 \log do-china_{A,t} + \alpha_5 \log INV_{A,t} + \alpha_6 FDI_{A,t} + \alpha_7 \log DO_{A,t} + \varepsilon_{A,t}$$

حيث أن :

A : رمز إلى الدول العربية

*النمو الاقتصادي (gA) : معدل النمو السنوي في متوسط نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي

* GDP_A : الناتج المحلي الإجمالي

* تدفقات الاستثمارات الأجنبية المباشرة إلى الدول (FDI_A) : صافي تدفقات الاستثمارات الأجنبية المباشرة إلى الداخل كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي.

* درجة الانفتاح التجاري مع العالم (DO_A): مجموع الصادرات و الواردات (المبادلات التجارية مع أنحاء العالم) من السلع و الخدمات كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي.

* درجة الانفتاح التجاري مع الصين ($do-china_A$): مجموع الصادرات و الواردات (المبادلات التجارية مع الصين) من السلع و الخدمات كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي.

* الاستثمار المحلي الإجمالي (INV_A): الاستثمار المحلي الإجمالي كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي.

مصادر البيانات المستخدمة في التقدير. باستثناء بيانات التجارة البينية، مأخوذة عن (World Development Indicators (WDI; World Bank, 2016)

يتم تقدير المعادلات المتعلقة بأثر التجارة البينية بين الصين و الدول العربية باستخدام command `xtdpdys` of STATA التي تقوم على أسلوب بنال الديناميكي (dynamic panel-data) لبلونديل و بوند (Blundell and Bond) (1995).

جدول 4. نتائج النموذج القياسي باستخدام طريقة GMM -sys خلال الفترة (2000-2012)

Dependent variable $g(y)$			
Exogenous variables	Coefficient	t-Statistic	Prob.
$g(y)_{A,t-1}$	0.2953542***	3.85	0.000
$\log GDP_{A,t}$	6.491506*	1.83	0.068
$FDI_{A,t}$	0.2024256**	1.99	0.047
$\log GL_{A,t}$	0.133471	0.29	0.770
$\log do-china_{A,t}$	1.051463*	1.93	0.053
$\log DO_{A,t}$	-1.856011	-0.55	0.580
$\log INV_{A,t}$	-3.915424*	-1.65	0.098
Number of obs	162		
Sargan test	Chi2(76)=112.737 P>chi2=0.004		
Wald test	Chi2(7)=25,68 P>chi2=0,0006		

*** معنوي عند مستوى دلالة قدره 1% ، ** معنوي عند مستوى دلالة قدره 5% ، * معنوي عند مستوى دلالة قدره 10%

المصدر : من إعداد الباحثة باستخدام برنامج " STATA 13 "

يمكن استخلاص العديد من المعلومات من هذا التقدير. في الواقع، يمكن القول أن نموذج (I) مهم على الصعيد الإجمالي بمستوى 1% (مربع كاي= 25.68). وهكذا، فإن المتغيرات المختارة هي كافية لشرح المتغير الثاني: نمو الناتج المحلي للفرد الواحد $g(y)$.

وجود أثر موجب ومعنوي للانفتاح التجاري مع الصين

وجود أثر ايجابي غير معنوي للمبادلات التجارية بين الصناعات للدول العربية مع العالم.

من نتائج النموذج يتبين أيضا وجود علاقة طردية (غير معنوية) بين التجارة البينية و النمو الاقتصادي حيث أن زيادة المبادلات التجارية العربية-الصينية ضمن نفس الصناعات تؤدي إلى زيادة معدل نمو الناتج المحلي للفرد الواحد. و هذه النتيجة وافق دراسة (Souguir and Ben Zina 2015a, 2015b).

و يعني هذا أن المبادلات التجارية الصينية-العربية بين الصناعات لها دور جوهري و أهم في التأثير على النمو الاقتصادي داخل الدول المكونة للعينة محل الدراسة مقارنة بكل من المبادلات التجارية الصينية-العربية ضمن نفس الصناعات و المبادلات التجارية بين الصناعات للدول العربية مع شعوب العالم.

ووجد علاقة طردية ومعنوية بين الاستثمارات الخارجية المباشرة و معدل نمو الناتج المحلي للفرد الواحد و بالتالي فقد نجحت أغلب الدول العربية وفق رؤية طويلة المدى لمضاعفة ويرة التقدم الاقتصادي في تعزيز موقعها على خارطة الاستثمارية حيث أضحت خيارا مفضلا و جاذبا للاستثمارات الخارجية المباشرة.

وجود أثر سالب و معنوي للاستثمار المحلي يفسر هذا بأن الدول العربية لم تستطع عظيم الاستفادة من كافة المقومات التي تمتلكها مثل وفرة الكفاءات البشرية و المواد الأولية. و لهذا يجب التركيز على إقامة المشاريع الاستثمارية الأكثر جدوى و إعادة نشيط المؤسسات الإنتاجية في القطاعين العام و الخاص عن طريق إعادة الهيكلة و التحديث التكنولوجي و الإداري و رفع الحاميات الجمركية عنها.

كما ووجد علاقة طردية و معنوية بين الناتج المحلي الإجمالي لكل دولة و النمو الاقتصادي.

5. خلاصة

هدفت الدراسة إلى تقدير و تحليل أثر حجم التجارة البينية بين الصين و 14 دولة عربية على النمو الاقتصادي في الدول المعنية بالتحليل خلال الفترة (2000-2012). ومن خلال استعراض أدبيات هذه العلاقة في النظرية الاقتصادية، نجد أن هناك أصيلا نظريا لأهمية دور التجارة في دفع عجلة النمو الاقتصادي، وأن التجارة الدولية مثل آلة النمو في كافة قطاعات الاقتصاد، و برر ذلك أساسا نتيجة لخفض كلفة وحدة الإنتاج بسبب التوسع في حجم السوق، و رشيد نظام الإنتاج حتى أثير المنافسة.

من خلال العرض الوصفي لتطور مؤشر التجارة البينية بين الصين و الدول العربية بين لنا أن التبادلات بين الجانبين تركز أساسا على منتجات محدودة وليست متنوعة. بغية إرساء أرضية متينة للتبادل التجاري يجب تعزيز و تنوع الواردات الصينية من الدول العربية مع التركيز على المنتجات غير النفطية لخفض العجز التجاري العربي مع الصين. أيضا العمل على إثارة مناخ من الحراك و الحوار في العلاقة ما بين القطاعين العام و الخاص من جهة و بين القيادة السياسية و متخذي القرار في الجانبين الصيني و العربي من جهة ثانية لبحث أوجه نمو حجم التبادل التجاري من ناحية و تنوع مساراته من ناحية أخرى بحيث لا يقتصر على النفط الذي يستأثر بالجانب الأكبر من المعاملات التجارية بين الطرفين و ضرورة التعامل الإيجابي مع المعطيات الدولية الجديدة و العمل على وضع آليات بناءة في مواجهة ثقافة العولمة الجارفة.

و على الرغم من التحديات المزدوجة الناجمة عن الأزمة المالية العالمية و التغيرات الكبيرة التي طرأت على المنطقة العربية، فإن التجارة البينية الصينية-العربية واصل نموها و ما يؤكد ذلك بوضوح وجود أثر موجب للتجارة ضمن نفس الصناعات بين الصين و العالم العربي على النمو الاقتصادي للدول المكونة للعينة محل الدراسة خلال الفترة (2000-2012).

هذه النتائج المشجعة و الجهود المبذولة على مستوى الدول المكونة للعينة لأجل تنمية المبادلات التجارية البينية، لم تمنع الكثير من العوائق المسببة لعدة اختناقات في مسار المبادلات التجارية البينية الصينية-العربية، مثل تلك المتعلقة بمشكلات الدخول إلى الأسواق، العوائق على المستوى اللوجستيكي، و قلة وفرة المعلومات و المعرفة الكافية حول هذه الأسواق و فرص الأعمال، كذلك المنتجات المعروضة للتصدير غير متعددة و غير متنوعة، أحيانا لا تلائم مع المعايير و المواصفات الدولية المعتمدة في الأسواق العالمية. إضافة إلى الأزمات الاقتصادية و حساسية الأوضاع السياسية التي شهدها حاليا الساحة العربية.

و تلخص أهم استنتاجات الدراسة لأغراض السياسة في الآتي (1) الإسراع بالتكامل الاقتصادي العربي- الصيني أصبح هدفا استراتيجيا و ضرورة فرضها التطورات الاقتصادية العالمية (2) العمل على إقامة كتل اقتصادية و بيانات تجارية مشتركة. هذا يتطلب من الجانبين نوع التعاون الاقتصادي و التجاري و توسيع مجاله إلى القطاعات غير نفطية و ذات التقنية العالية و غيرهما من المجالات الحديثة. (3) يجب تطوير آليات التعاون و أيدها من خلال إنشاء مجالس أعمال مشتركة لتكون حلقة وصل بين رجال الأعمال و التعريف بفرص الاستثمار لدى العرب و الصينيين و تشجيع التبادل التجاري. حيث أظهرت النتائج أن الزيادة في معدل الاستثمار الأجنبي سوف يؤدي إلى زيادة نمو الناتج المحلي للفرد الواحد $g(y)$.

شكر و تنويه

كل الشكر إلى السيدة بسمة سقير العابد¹ على المساعدة

¹ أستاذة لغة عربية بالمعهد الثانوي علي بورقيبة القلعة الكبرى سوسة-ونس

REFERENCES

- [1] Baldwin, R.E, "Openness and growth: What's the empirical relationship?" *NBER Working Paper n° 9578. Cambridge MA*, 2003
- [2] Bekaert, G. and Campbell Harvey, and R. Lundblad, "Does financial liberalization spur growth", *NBER WP 8245*, 2001.
- [3] Blundell, R. W. and S. R. Bond, "Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models", *Journal of Econometrics*, 87, pp. 115-143, 1998.
- [4] Dollar, D. and Kraay, A, "Trade, growth and poverty, The World Bank Development Research Group", *Washington*, 2000.
- [5] Duran, J. Y Alvarez, A, "Indicadores de comercio exterior y politica comercial : medidores de posicion y dinamismo comercial", *CEPAL, Santiago de Chile*, 2008.
- [6] Edwards, S, "Openness, trade liberalisation, and growth in developping countries", *Journal of Economic Literature*, vol 31, n° 3, pp. 1358-1393, 1993.
- [7] Ethier, W.J, "National and international returns to scale in the modern theory of international trade", *American Economic Review*, vol 72, pp. 389-405, 1982.
- [8] Flam, H. and Helpman, E, "Vertical product differentiation and North-South trade", *American Economic Review*, vol 77, pp. 810-822, 1987.
- [9] Frankel, Jeffrey A., and David Romer, "Does trade cause growth?" *American Economic Review*, vol 89, n° 3, pp. 379-399, 1999.
- [10] Grilli, V. and G. M. Milesi-Ferretti, "Economic effects and structural determinants of capital controls", *IMF Staff Papers*, September, 42, pp. 517-551, 1995.
- [11] Helpman E, "International Trade in the Presence of Product Differentiation, Economies, of Scale and Monopolistic Competition: A Chamberlinian-Heckscher-Ohlin Approach", *Journal of International Economics*, vol. 11, n°3, pp. 305-340, 1981.
- [12] Krugman, P. R, "Increasing returns, monopolistic competition, and international trade" *Journal of International Economics*, vol 9, n° 4, pp. 469-479, 1979.
- [13] Krugman. P et Obstfeld. M, "Economie internationale", *Deuxième édition Française*, 1996.
- [14] Lancaster, K. J, "Intra-industry trade under perfect monopolistic competition" *Journal of International Economics*, vol 10, pp. 151-175, 1980.
- [15] Lucas, R, "On the mechanics of economic development", *Journal of Monetary Economics*, vol 22, n°3, pp 3-42, 1988.
- [16] Quinn, D, "The correlates of change in international financial regulation", *American Political Science Review*, vol 9, n°3, pp. 531-551, 1997.
- [17] Rodriguez, F, "Openness and growth: What have we learned?" *Wesleyan Economics Working Paper 2006-011. Middletown, CT*, 2006.
www.un.org/esa/policy/backgroundpapers/openness_and_growth.pdf
- [18] Rodriguez, F. and D. Rodrik, "Trade policy and economic growth: A sceptics guide to the cross-national evidence", In *B. Bernanke and K. Rogoff, eds. Macroeconomics Annual 2000. Combridge MA: MIT Press (for NBER)*, 2000.
- [19] Romer, Paul M., "Increasing Return and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, vol 94, n° 5, pp 1002-1037, 1986.
- [20] Sachs, J. and A. Warner, "Economic reform and the process of global integration", *Brookings Papers on Economic Activity*, vol 1, pp 1-118, 1995.
- [21] Skipton, C, "Trade openness and long term economic growth: Does size or level of economic development matter?" *Paper presented at Southern Economics Association 2004 Annual Meetings, New Orleans, LA*, November, 2004.
- [22] Souguir Afef and Ben Zina Nacer, "Commerce intra-branche et croissance économique des pays en développement", *Revue européenne du droit social*, vol 29, n°4, pp. 194-213, 2015a.
- [23] Souguir, Afef and Ben Zina Nacer, "Commerce intra-branche et croissance d'une économie ouverte en développement : une analyse par les données de panel statique". *Les Cahiers du Cedimes*, vol 9, n°2, pp. 69-89, 2015b.
- [24] Wacziarg, R. and K.H. Welch, "Tarde liberalisation and growth: New evidence", *World Bank Economic Review*, vol 22, n° 2, pp. 187-231, 2008.

ملحق رقم (1)

جدول 1. الأردن

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00343	0,04192	0,00020	0,00000	0,00000	0,00000	0,00056	0,00037	0,00007	0,00000	0,00056	0,00002	0,00000
1	0,00000	0,00003	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00020	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,00463	0,06108	0,08352	0,70777	0,36781	0,16163	0,93236	0,98549	0,87314	0,38666	0,93236	0,85963	0,91889
3	0,00000	0,00000	0,00215	0,00000	0,00798	0,01255	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00004	0,00000
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00532	0,79996	0,61209	0,02303	0,00000	0,79996	0,09141	0,01426
5	0,56096	0,72149	0,78804	0,92910	0,95664	0,94310	0,91997	0,98688	0,97940	0,97926	0,91997	0,91000	0,91946
6	0,00001	0,00001	0,00011	0,21025	0,13203	0,07733	0,00015	0,00108	0,00027	0,00128	0,00015	0,00032	0,00121
7	0,00000	0,00000	0,00002	0,00003	0,00056	0,00030	0,00048	0,00048	0,00024	0,00009	0,00048	0,00134	0,00047
8	0,00008	0,00005	0,00003	0,00016	0,00150	0,00140	0,00452	0,00487	0,00129	0,00389	0,00452	0,00201	0,00193
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,27116

جدول 2. الإمارات

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,08292	0,01925	0,01444	0,00549	0,00362	0,00450	0,00650	0,08292	0,00965	0,00382	0,00431	0,00893	0,00925
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00009	0,00002	0,00000	0,00000	0,00058	0,00068	0,00253	0,00615	0,00998
2	0,48234	0,96959	0,93935	0,54175	0,61883	0,56529	0,52762	0,48234	0,38874	0,94496	0,68576	0,36294	0,23930
3	0,06123	0,03785	0,24646	0,07118	0,09059	0,13294	0,06397	0,06123	0,05271	0,25896	0,22966	0,06745	0,09318
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00003	0,00000	0,00000	0,42746	0,34559	0,04934	0,67475	0,04178
5	0,09367	0,02711	0,66298	0,99725	0,91165	0,79977	0,63726	0,09367	0,50057	0,72546	0,90257	0,70595	0,66988
6	0,13365	0,17138	0,11680	0,10177	0,09008	0,06104	0,07834	0,13365	0,02361	0,06631	0,03970	0,04373	0,05109
7	0,00519	0,00157	0,00103	0,00071	0,00019	0,00489	0,00115	0,00519	0,00260	0,00181	0,00186	0,01747	0,00574
8	0,00040	0,00043	0,00021	0,00032	0,00043	0,00101	0,00049	0,00040	0,00120	0,00069	0,00039	0,00189	0,00345
9	0,00000	0,49329	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,13793	0,00000	0,48262	0,00000	0,03339	0,51602	0,42871

جدول 3. البحرين

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,71176	0,01781	0,02131	0,09724	0,00917	0,04540	0,01645	0,17080	0,04416	0,11950	0,00835	0,00000	0,00000
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,04705	0,09391	0,00000	0,48640	0,19151	0,19587	0,24535	0,02491	0,01332	0,04514	0,01847	0,02643	0,01836
3	0,00858	0,09887	0,10136	0,03171	0,60616	0,34779	0,49385	0,49900	0,00639	0,71926	0,98858	0,64862	0,66641
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	0,31485	0,22537	0,41953	0,98695	0,69069	0,58203	0,63593	0,74334	0,54089	0,72265	0,95552	0,93908	0,82088
6	0,86397	0,94146	0,90598	0,98482	0,96159	0,71684	0,54271	0,48097	0,27361	0,97687	0,21381	0,15998	0,35027
7	0,00008	0,00020	0,00661	0,00004	0,00002	0,00009	0,00316	0,02543	0,00047	0,00229	0,00028	0,00809	0,00051
8	0,00000	0,00000	0,00035	0,00117	0,00078	0,00008	0,09723	0,02020	0,00031	0,00023	0,00014	0,00109	0,00029
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 4. تونس

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00458	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,02330	0,04820	0,02652	0,00013	0,00905	0,01928	0,11160
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,53738	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,06622	0,20839	0,31039	0,79653	0,91966	0,90654	0,86907	0,63024	0,33148	0,60591	0,51471	0,97763	0,78309
3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00226	0,07092	0,00000	0,00602	0,00154	0,00000	0,00000
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,35941	0,03057	0,00000	0,66627	0,00000	0,04826	0,22137	0,10716
5	0,00072	0,00222	0,21979	0,72590	0,55224	0,62508	0,55609	0,24165	0,98181	0,80518	0,73301	0,72328	0,88486
6	0,12876	0,13425	0,03444	0,04619	0,09639	0,07524	0,02185	0,02551	0,06223	0,04977	0,02249	0,02277	0,04174
7	0,00951	0,05092	0,02467	0,07092	0,03469	0,03790	0,08184	0,09325	0,08156	0,06191	0,11553	0,11411	0,08664
8	0,00064	0,00416	0,02632	0,04273	0,05533	0,16909	0,16437	0,22696	0,37050	0,43125	0,40147	0,47196	0,37459
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 5. الجزائر

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00011
1	0,00000	0,00024	0,00015	0,00000	0,63457	0,02922	0,05288	0,09399	0,09399	0,00000	0,06254	0,12990	0,56752
2	0,00000	0,00000	0,00005	0,03020	0,04864	0,01735	0,10165	0,23635	0,23635	0,70279	0,81108	0,48030	0,09411
3	0,00009	0,09628	0,14707	0,15532	0,00046	0,00567	0,07480	0,00468	0,00468	0,00097	0,00154	0,00099	0,00072
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00017	0,02087
5	0,00000	0,00074	0,00000	0,00000	0,00192	0,04417	0,32851	0,10283	0,10283	0,20259	0,22191	0,00257	0,00588
6	0,08757	0,11096	0,17054	0,29001	0,00264	0,00084	0,00167	0,00167	0,00295	0,00634	0,00658	0,00407	0,00407
7	0,00002	0,00001	0,00003	0,00084	0,00009	0,00007	0,00008	0,00015	0,00009	0,00001	0,00006	0,00015	0,00015
8	0,00000	0,00000	0,00004	0,00000	0,00001	0,00009	0,00009	0,00009	0,00001	0,00001	0,00316	0,00011	0,00007
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 6. السعودية

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,02231	0,00545	0,00498	0,00059	0,00072	0,00620	0,00037	0,00411	0,01625	0,02399	0,03399	0,02848	0,00830
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00008	0,00000	0,00072	0,02548	0,20963	0,69151	0,95221
2	0,81452	0,87154	0,36216	0,15896	0,09587	0,12961	0,12994	0,12945	0,04735	0,16947	0,10994	0,12158	0,19989
3	0,00132	0,00013	0,00567	0,00039	0,00031	0,00060	0,00088	0,00098	0,00091	0,00063	0,00079	0,00047	0,00130
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,76013	0,00044	0,00000
5	0,13307	0,11231	0,12664	0,12304	0,11083	0,11893	0,11970	0,14350	0,18430	0,15644	0,12966	0,12955	0,15634
6	0,01840	0,02584	0,07870	0,31318	0,12897	0,01803	0,01003	0,01054	0,01079	0,01888	0,02510	0,02164	0,01787
7	0,03153	0,00652	0,00627	0,00427	0,00078	0,00159	0,00024	0,00019	0,00117	0,00121	0,00729	0,00398	0,00302
8	0,00013	0,00012	0,00313	0,00013	0,00011	0,00018	0,00031	0,00022	0,00042	0,00019	0,00026	0,00018	0,00014
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00132	0,00000	0,00086	0,00000

جدول 7. عمان

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,73513	0,36818	0,53341	0,23175	0,20877	0,39755	0,14317	0,26834	0,21470	0,08055	0,00776	0,05869	0,11562
1	0,00000	0,03944	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00079
2	0,01290	0,60220	0,65920	0,02501	0,04781	0,05083	0,04897	0,01108	0,00285	0,01875	0,00484	0,00602	0,02321
3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00008	0,00001	0,00000	0,00126	0,00340	0,00627	0,00566	0,00522
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,27567
5	0,00652	0,01104	0,00000	0,00000	0,00034	0,00976	0,53828	0,85131	0,41085	0,26082	0,12279	0,12535	0,13091
6	0,04657	0,77800	0,00005	0,19031	0,00595	0,55939	0,41098	0,25067	0,10297	0,70392	0,35195	0,56776	0,49766
7	0,00222	0,00154	0,00024	0,01140	0,00082	0,00148	0,00006	0,00018	0,00026	0,00130	0,00288	0,00407	0,00521
8	0,00611	0,00099	0,01309	0,04407	0,00500	0,02153	0,00003	0,00030	0,01576	0,00030	0,00016	0,00035	0,00017
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,02785	0,00000

جدول 8. قطر

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00125	0,00000	0,00000	0,00021	0,00000	0,00000	0,00049	0,00033	0,00000
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00393	0,00000
2	0,00000	0,00028	0,00000	0,00871	0,01517	0,02564	0,43902	0,68498	0,07608	0,33257	0,09690	0,04452	0,03232
3	0,00019	0,00035	0,00059	0,00002	0,04802	0,11408	0,13018	0,10589	0,07608	0,04450	0,02095	0,01774	0,01703
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	0,01998	0,02503	0,06967	0,05811	0,03417	0,05937	0,07651	0,10297	0,14073	0,13594	0,13566	0,13749	0,15488
6	0,00000	0,33891	0,00041	0,10867	0,00247	0,00128	0,00049	0,00133	0,00078	0,24066	0,10063	0,21882	0,08666
7	0,41953	0,00003	0,01212	0,00376	0,00247	0,00182	0,00025	0,00040	0,00429	0,00045	0,00048	0,00080	0,00050
8	0,00018	0,03130	0,01242	0,00262	0,00304	0,00134	0,00292	0,00379	0,00326	0,00055	0,00053	0,00060	0,00032
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 9. كويت

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00205	0,00456	0,00393	0,00338	0,00051	0,00000
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,27140	0,33852	0,30604	0,12323	0,07888	0,06374	0,14811	0,14526	0,09025	0,16585	0,45925	0,21962	0,19660
3	0,00061	0,00027	0,00041	0,04480	0,00020	0,00014	0,00010	0,00009	0,00003	0,00054	0,00158	0,00140	0,00041
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	0,16403	0,10247	0,12768	0,12893	0,12852	0,15597	0,23132	0,36909	0,43657	0,18001	0,10788	0,11588	0,09146
6	0,00099	0,00125	0,00031	0,01511	0,00157	0,00013	0,00008	0,00001	0,00011	0,00012	0,00024	0,00039	0,00101
7	0,00300	0,00004	0,00007	0,00079	0,00010	0,00243	0,00020	0,00014	0,00007	0,00006	0,00144	0,00020	0,00033
8	0,00526	0,00006	0,00003	0,00039	0,00002	0,00043	0,00005	0,00001	0,00002	0,00003	0,00001	0,00009	0,00003
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 10. لبنان

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00000	0,00000	0,00250	0,00272	0,00006	0,00007	0,00001	0,00040	0,00012	0,00002	0,00002	0,00000	0,00000
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,80834	0,29121	0,81582	0,05206	0,00000
2	0,06585	0,44601	0,56256	0,35383	0,68170	0,43769	0,68165	0,83208	0,77100	0,66242	0,74437	0,75470	0,91563
3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,03001
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,26881	0,00000	0,00000	0,00000	0,27379	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,02093
5	0,07634	0,13905	0,11650	0,10072	0,09188	0,03696	0,04170	0,02711	0,02499	0,02258	0,04974	0,05021	0,04533
6	0,00005	0,00162	0,00034	0,00434	0,00045	0,01127	0,03648	0,01707	0,00262	0,00722	0,00947	0,00308	0,00285
7	0,00000	0,00007	0,00099	0,00041	0,00305	0,00199	0,00373	0,00009	0,00519	0,00132	0,00019	0,00268	0,00219
8	0,00012	0,00012	0,00018	0,00010	0,00015	0,00024	0,00061	0,00032	0,00065	0,00098	0,00057	0,00051	0,00065
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,13384	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 11. ليبيا

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,00000	0,00000	0,00086	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00258	0,00000	0,09918	0,00000
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,00000	0,03515	0,04308	0,55283	0,80696	0,52493	0,45510	0,09565	0,06657	0,83690	0,98891	0,35199	0,07711
3	0,00985	0,00000	0,00000	0,00000	0,00009	0,00006	0,00002	0,00002	0,00004	0,00039	0,00134	0,00242	0,00040
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	0,19313	0,00000	0,53247	0,00000	0,82186	0,00000	0,00320	0,06866	0,09618	0,71862	0,58763	0,51938	0,00000
6	0,00000	0,01659	0,00000	0,62815	0,63877	0,00000	0,00000	0,00001	0,00002	0,00000	0,08971	0,00000	0,00225
7	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00013	0,00154	0,00033	0,00002	0,00002	0,00004	0,00005	0,00218	0,00001
8	0,00000	0,00000	0,00009	0,00023	0,00001	0,00007	0,00011	0,00001	0,00000	0,00003	0,00000	0,00000	0,00001
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,07905	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 12. مصر

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,04977	0,02720	0,01753	0,07487	0,39159	0,08281	0,02336	0,06237	0,05475	0,01802	0,01946	0,03170	0,10234
1	0,00000	0,00000	0,00545	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00022	0,01360	0,00826	0,00444
2	0,37592	0,33664	0,20910	0,27248	0,69063	0,18049	0,35588	0,28871	0,40918	0,38909	0,46173	0,52189	0,57591
3	0,23293	0,76540	0,88419	0,10906	0,13710	0,08531	0,41325	0,39978	0,08382	0,02165	0,02348	0,04521	0,03719
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01313	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,06775	0,48348	0,95712	0,53327
5	0,00701	0,04808	0,04024	0,10184	0,21797	0,16666	0,10471	0,27999	0,18716	0,27999	0,21501	0,25582	0,20910
6	0,11012	0,05223	0,13285	0,14785	0,20354	0,16765	0,04260	0,02044	0,02312	0,06584	0,04693	0,04903	0,03148
7	0,00055	0,00030	0,00483	0,07503	0,01044	0,00683	0,00344	0,00172	0,00090	0,00190	0,00242	0,00303	0,00487
8	0,00061	0,00100	0,00459	0,00381	0,00233	0,00433	0,00311	0,00799	0,01769	0,01047	0,01171	0,01360	0,01104
9	0,00000	0,00463	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00045	0,00007	0,02389	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 13. المغرب

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,10223	0,09605	0,15408	0,28672	0,11513	0,09074	0,05244	0,12082	0,12036	0,05393	0,08343	0,06041	0,13123
1	0,02713	0,08106	0,16550	0,00130	0,00389	0,00027	0,00000	0,00329	0,00000	0,03286	0,05188	0,09298	0,16697
2	0,13222	0,33063	0,86145	0,85222	0,30218	0,42125	0,54001	0,62711	0,31146	0,29082	0,15916	0,26779	0,16753
3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,27596	0,02857	0,61488	0,09644	0,04919	0,00111	0,21689
5	0,53780	0,41352	0,56340	0,59181	0,75701	0,91877	0,78970	0,82219	0,75285	0,78517	0,77779	0,56124	0,79023
6	0,00213	0,00334	0,05335	0,14028	0,07792	0,02764	0,01412	0,01843	0,01219	0,03859	0,03559	0,02016	0,01253
7	0,83769	0,84131	0,90220	0,96851	0,98405	0,88592	0,83968	0,65974	0,46029	0,41991	0,41147	0,39952	0,35636
8	0,00623	0,02615	0,00729	0,00338	0,00290	0,00679	0,01010	0,03102	0,06491	0,09235	0,12240	0,13370	0,11926
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

جدول 14. □ وريتانيا

الرمز	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	0,72315	0,80469	0,81177	0,70223	0,44536	0,35409	0,33089	0,24845	0,28838	0,13212	0,06835	0,10858	0,28366
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,02917	0,00000
2	0,00000	0,95896	0,00000	0,00365	0,00063	0,06624	0,01178	0,00003	0,00064	0,00017	0,00050	0,00003	0,00016
3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00015	0,00002	0,00002	0,00287	0,00069	0,00153
4	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01443
5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
6	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00012	0,00000	0,00347
7	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002	0,00000	0,00023	0,00053	0,00676	0,00329	0,00084	0,00002	0,00031	0,00018
8	0,00000	0,00003	0,00024	0,00018	0,00010	0,00014	0,00000	0,00017	0,00002	0,00000	0,00130	0,00040	0,00004
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,24658	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

المصدر : من إعداد الباحثة بناء على بيانات UN Comtrade database

Apport de la pédologie et de la géomorphologie à la planification écologique des écosystèmes de Kimpolo I et ses environs (République Démocratique du Congo)

[Contribution of pedology and geomorphology to the ecological planning of Kimpolo I ecosystems and its surroundings (Democratic Republic of Congo)]

Xavier MBUTABUBA NKURA¹, Constantin LUBINI AYINGWEU², and Paul MAFUKA MBEMPIE³

¹Section Géomètre-Topographe, Institut National du Bâtiment et de Travaux Publics (INBTP), B.P. 4731 Kinshasa Ngaliema, RD Congo

²Laboratoire de Systémique, Biodiversité, Savoirs endogènes et Conservation de la Nature, Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

³Laboratoire de Pédologie, Département des Eaux et Sols, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2018 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 ecosystems of Kimpolo I village and its surroundings are located 23 km east of Kinshasa on the western edge of the Bateke Plateau. To better understand the contribution of its soils and its relief to the ecological planning of its natural ecosystems, a soil analysis and a geomorphological map of this area have been carried out. This study was conducted using soil samples from environmental ecosystems and satellite geographic data collected in the field. On 15 soil samples from different horizons of four profiles, the analysis indicates that the texture of these soils is more than 85% sandy, the pH-H₂O and KCl vary from strongly to moderately acidic, the carbon contents Organic matter levels are low, organic matter levels correspond to very low productivity and the Carbon-Nitrogen ratios indicate that there is either a predominance or a balance between mineralization and nitrogen release in horizons and cation exchange capacities. Reveal that these soils are sandy. Geomorphologically, spatial data processing informs that contour lines are spaced in the middle of the site, attesting to the existence of the plain and narrowed after watercourses before re-spacing to mark the sinusoidal change in relief. In view of the human activities practiced in the site which have a negative impact on the soils and the relief, particular attention must be given to these degraded ecosystems, with a view to their ecological planning.

KEYWORDS: Relief, soils, flora, human activities, environmental impacts, ecological development.

RESUME: Les écosystèmes du village Kimpolo I et ses environs sont situés à 23 km à l'est de Kinshasa aux confins occidentaux du plateau de Bateke. Pour mieux connaître l'apport de ses sols et de son relief à la planification écologique de ses écosystèmes naturels, une analyse de sols et une carte géomorphologique de cet espace ont été effectuées. Cette étude a été menée à partir d'échantillons de sols provenant d'écosystèmes du milieu et de données géographiques satellitaires récoltées sur le terrain. Sur quinze échantillons des sols issus de différents horizons de quatre profils effectués, l'analyse renseigne que la texture de ces sols est à plus de 85 % sablonneuse, les pH-H₂O et de KCl varient de fortement à moyennement acides, les teneurs en carbone organique sont basses, les taux des matières organiques correspondent à une productivité très basse et les rapports Carbone-Azote indiquent qu'il y a soit prédominance ou soit équilibre entre minéralisation et libération de l'azote dans les horizons et les capacités d'échange cationique révèlent que ces sols sont sablonneux. Sur le plan géomorphologique, le traitement de données spatiales renseigne que les courbes de niveau sont espacées au milieu du site attestant l'existence de la plaine et resserrées après les cours d'eau avant de ne se ré-espacer pour marquer le

changement sinusoïdal du relief. Eu égard aux activités humaines pratiquées dans le site qui impactent négativement sur les sols et le relief, une attention particulière doit être accordée à ces écosystèmes dégradés, en vue de leur planification écologique.

MOTS-CLEFS: Relief, sols, flore, activités humaines, impacts environnementaux, aménagement écologique.

1 INTRODUCTION

Actuellement, une gestion durable de ressources naturelles biologiques doit être intégrée tous les facteurs qui interviennent dans la vie de communautés animales et végétales d'une contrée. L'étude menée est un exemple puisé dans la notion d'écologie systémique en vue de l'aménagement des écosystèmes. Le village Kimpolo I et ses environs sont un hinterland qui approvisionne la ville de Kinshasa en produits agricoles et autres matériaux couramment employés par les citoyens pour divers besoins.

Depuis trois ans, nous avons entrepris l'étude de la relation entre le milieu géophysique et les communautés végétales de ce village. La présente note se rapporte aux résultats obtenus sur la base de recherches sur le terrain et au laboratoire. Elle concerne la caractérisation du milieu, les aspects pédologiques et géomorphologiques en relation avec les communautés végétales.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Situé dans la partie orientale de la ville de Kinshasa, le village Kimpolo I est situé à 23 km de Kinshasa aux confins occidentaux du plateau de Bateke (4°29' de latitude sud et 15°31' de longitude, 416 m d'altitude). Ce village est le chef-lieu d'un de groupements du quartier urbano-rural de Buma, entité politico-administrative de la commune de N'sele à Kinshasa.

Il est borné au nord par le versant de la rivière Mashe-Mashe, à l'est par les ruisseaux Mamboma, Mabanga et Mangemi, au sud par la ligne de crête marquant le début de la galerie forestière qui longe le ruisseau Mubeshi et à l'ouest par la ligne de crête proche de la quelle est situé le village Bambila.



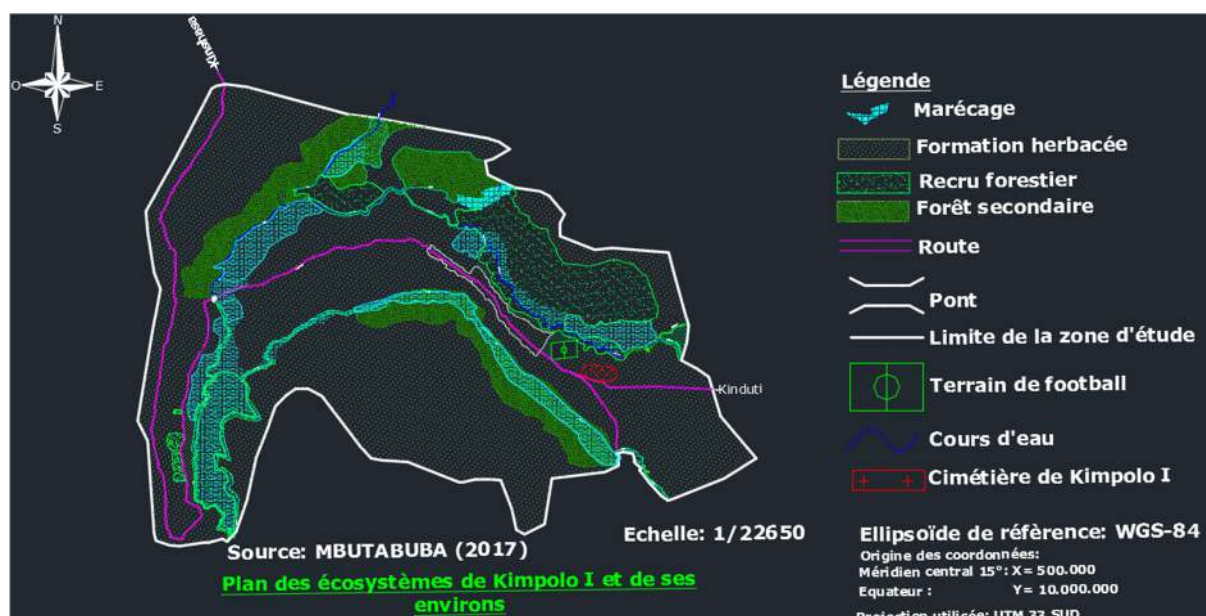
Fig. 1. Extrait de la carte planimétrique de Kinshasa S 5/15 (Ech. : 1/200.000). Source : IGZa (1975).

Son climat est tropical chaud et humide et du type AW₄. Selon le Centre de Recherches Géologiques et Minières de la République Démocratique du Congo (2012), le substratum géologique est dominé par les formations de couverture d'âge Pléistocène à Pliocène et constituées de plusieurs types de dépôts sableux. Ce sont des formations sableuses reposant sur de surfaces d'aplanissement d'érosion et constituées de sables plus ou moins argileux, gris clair à rouges, et comportent généralement un gravier à la base ; leur épaisseur atteint 75 m.

La végétation du milieu est composée de formations herbeuses, recrûs et galerie forestiers ainsi que de marécages (Plan 2). Sa flore est riche et diversifiée. On observe généralement dans le site, des caténa de sols qui, associés à la texture du sol, au climat, aux mutations géologiques, aux impératifs altitudinaux de croissance de plantes et à la distribution phytogéographique, justifient la richesse et la diversité floristique.

Les inventaires phytosociologiques effectués sur le terrain renseignent que la flore de marécages est dominée par les *Alchornea cordifolia*, *Cyclosorus striatus*, *Lasimorpha senegalensis* et *Selaginella myosurus*. Les formations herbeuses occupent les collines, les plaines et les plateaux. Elles dominent la végétation de l'aire étudiée et se développent sur des sols sablonneux. Leur physionomie est basse ou arbustive. Les espèces les plus caractéristiques sont, en ordre décroissant, les *Hyparrhenia diplandra*, *Hymenocardia acida*, *Chromolaena odorata*, *Annona senegalensis*, *Loudetia demeusei* et *Anisophyllea quangensis*. On retrouve dans ces formations herbeuses des éléments ligneux comme *Albizia adianthifolia*, *Bridelia ferruginea*, *Hymenocardia acida*, *Ochna afzelii*, *Psorospermum febrifugum*, *Strychnos cocculoides*, *S. pungens*.

Les galeries et recrûs forestiers sont contigus aux marécages ou les berges des cours d'eau et appartiennent à la catégorie des forêts secondaires pionnières et se développent sur des sols de terres fermes. Les espèces dominantes proportionnellement sont *Hymenocardia ulmoides*, *Tetracera poggei*, *Chaetocarpus africanus*, *Sclerocroton cornutum*, *Pentaclethra eetveldeana*, *Alchornea cordifolia*.



2.2 MATÉRIEL, MÉTHODES DE COLLECTE ET DE TRAITEMENT DES DONNÉES

Le matériel utilisé est constitué d'échantillons de sols provenant de profils pédologiques exécutés sur le terrain. Une identification de la nature pédologique et un prélèvement d'échantillons de sols dans les écosystèmes-types de ce milieu ont été effectués en Janvier 2017, suivis d'une analyse d'échantillons récoltés au laboratoire de Pédologie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa. En second lieu, une identification de formes géomorphologiques et un marquage des points au récepteur GPS, en vue de la délimitation et de l'élaboration de la carte topographique du site ont été réalisés.

Les méthodes sont, pour le relief du milieu, spatiales qui consistent à observer strictement les conditions optimales de prises de données (absence des masques, constellation des satellites bien répartie dans l'espace) ainsi que des distances entre points, afin de restituer fidèlement le site avec ses formes et proportions. Quant à la nature du sol, les méthodes ont varié selon les instruments utilisés.

Pour chaque échantillon de sol prélevé, divers instruments (PH-mètre, sédimentomètre, spectrophotomètre, Cathétomètre...) ont été utilisés pour déterminer ses paramètres physico-chimiques. La teneur en matière organique, le rapport Carbone/Azote (C/N), la capacité d'échange cationique (C.E.C.) et le taux de saturation du sol ont été évalués pour, respectivement, juger la qualité du sol pour l'agriculture, connaître le niveau de fertilité de sol, déterminer s'il y a minéralisation et libération de l'azote ou équilibre dans l'horizon examiné, mesurer la capacité du sol à retenir certains éléments nutritifs sous forme cationique ainsi que connaître la proportion de CEC occupée par les bases échangeables (Ca, Mg, K et Na).

Pour l'ensemble de points marqués au GPS, ils ont été injectés dans une chaîne logicielle comprenant : (i) le logiciel Leica Geo Office combiné (LGO) pour la prise en charge et la transformation des coordonnées géographiques issues des observations spatiales du terrain en coordonnées planes UTM 33 sud (Universal Transverse Mercator), utilisables sur carte ; (ii) le modèle géopotentiel terrestre EGM 2008 incorporé dans LGO, en vue du calcul d'ondulations géoïdales indispensables à la transformation des altitudes ellipsoïdiques en altitudes orthométriques utilisées pour les courbes de niveau ; (iii) le logiciel Covadis pour la réception de différentes coordonnées planes UTM 33 sud et altimétriques en vue d'une modélisation numérique du terrain, de création d'une vue à trois dimensions du site d'étude ainsi que de filage des courbes de niveau et (iv) le logiciel Autocad pour le dessin destiné à la mise en page et l'habillage de la carte. La carte obtenue a servi de base pour l'établissement d'autres cartes (de nature de sols, d'écosystèmes du site, d'usages de sol et d'aménagement écologique d'écosystèmes). Quant aux activités humaines, elles ont été répertoriées et géolocalisées et l'ampleur de chacune déterminée.

3 RESULTATS

3.1 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE SOLS

Tableau 1 : Granulométrie et acidité d'échantillons

N° Echantillon		Sable %	Limons %	Argile %	pH- H ₂ O	pH - KCl	Localisation du site de prélèvement
1	S1, Hor. A, ép. 8 cm	87,85	2,15	9,96	4,81	3,89	(φ = 4°29'27,7" Sud, λ = 15°31'48,4" Est, H = 381 m) Sur le versant de la rive gauche du ruisseau Mangemi à Kimpolo I
2	S1, Hor. B, ép. 10 cm	87,18	1,35	11,47	4,43	3,86	
3	S1, Hor. C, ép. 110 cm	94,45	0,49	5,06	5,65	4,78	
4	S1, Hor. D, ép. 70 cm	92,75	1,32	5,93	4,74	3,90	
5	S1, Horizon E, ép. 10 cm	94,55	0,79	4,66	4,75	3,95	
6	S2, Hor. A, ép. 14 cm	88,24	1,11	10,65	5,46	4,36	(φ = 4°29'31,1" Sud, λ = 15°32'30,5" Est, H : 377 m). Sur la pente de raccord de la formation herbeuse à 30 m du lit du ruisseau Mashe-Mashe (rive droite).
7	S2, Hor. B, ép. 90 cm	87,33	1,51	11,16	5,42	4,41	
8	S2, Hor. C, roche -mère	86,80	2,19	10,3	5,58	4,26	
9	S3, Hor. A, ép. 27 cm	97,23	0,32	2,45	5,13	4,09	(φ = 4°29'33,8" Sud, λ = 15°32'24,8" Est, H = 373 m). Dans la plaine de la savane hydromorphe à 20 m du lit du ruisseau Mashe-Mashe (rive droite).
10	S3, Hor. B, ép. 37 cm	99,21	0,28	0,51	5,66	5,13	
11	S3, Hor. C, ép. 70 cm	96,95	0,34	2,71	5,94	4,71	
12	S4, Hor. A, ép. 32 cm	85,49	1,38	13,13	5,56	4,50	(φ = 4°29'37,5" Sud, λ = 15°32'10,4" Est, H = 379 m). Formation herbeuse (au-delà du village Kimpolo vers Kinduti) entre les cours d'eau Mangemi, Bamboma, Mashe-Mashe.
13	S4, Hor. B, ép. 52 cm	93,68	1,25	5,07	5,34	4,86	
14	S4, Hor. C, ép. 18 cm	95,32	1,04	3,64	5,48	4,68	
15	S4, Hor. D, roche-mère	96,14	0,32	3,54	5,56	4,72	

Source : Résultats d'analyse de laboratoire. Légende : S1 (S se réfère au site et 1 au numéro du site) ; Hor. : Horizon ; ép. : épaisseur.

Les résultats du tableau 1 renseignent que les horizons des sols échantillonnés sont composés plus de sable [85,49 et 99,21 %], suivis de l'argile [0,51 – 13,13 %] ainsi que de limons [0,28 – 2,19 %]. Ces statistiques vont dans le sens des conclusions du Centre de Recherches Géologiques et Minières (2012) selon lesquelles, les plaines et collines des environs de Kinshasa (dans lequel est inclus le site analysé) sont sablonneuses ; les sols le long des cours d'eau sont sablo-argileux.

S'agissant des mesures de leurs pH, ceux de l'eau oscillent entre 4,39 et 6,02, tandis que ses correspondants de chlorure de Potassium varient entre 3,78 et 5,16. Les valeurs des mesures de pH déterminées sont la preuve que l'utilisation d'engrais

chimiques dont font usage les pratiquants de l'agriculture sur brûlis dans le milieu examiné acidifient le sol et baissent sa fertilité.

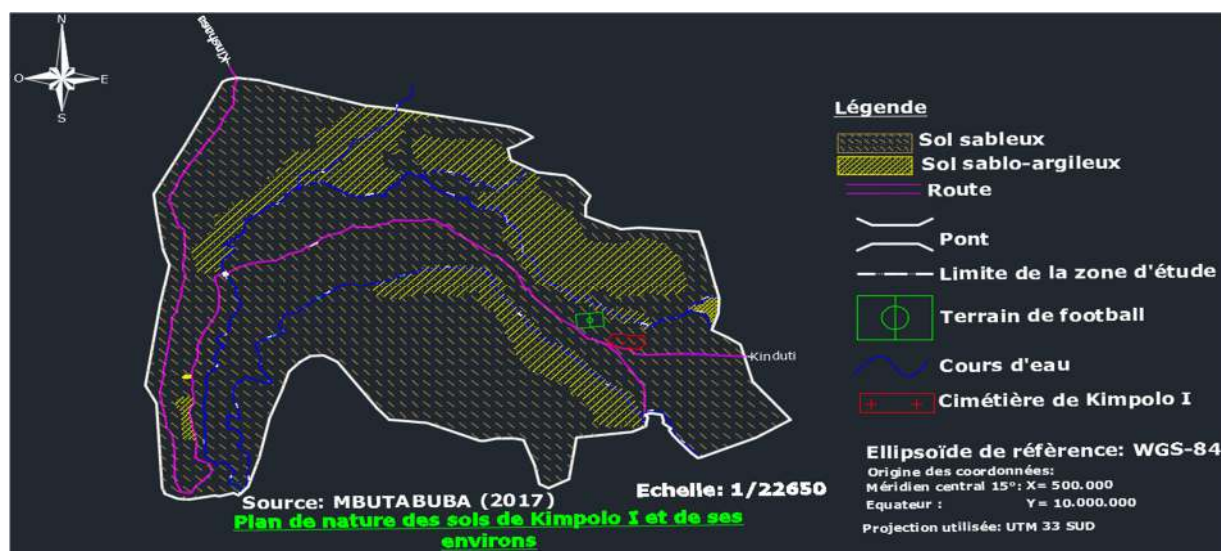
Tableau 2. : Bioéléments, matière organique, capacité d'échange cationique et taux de saturation

N° Echantillon		C.O. %	Azote %	C/N	M.O. %	Bases échangeables méc par 100 g de sol				C.E.C. méc / 100 g	T	P tot. P ass. ppm	
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺			P.tot	P.ass
2	Site N° 1, Horizon B, épaisseur 100 cm.	0,43	0,034	12,6	0,74	0,78	0,66	0,029	0,01	3,74	39,55	1,16	0,57
		0,51	0,046	11,1	0,88	0,97	0,82	0,02	0,01	3,86	47,15	3,69	0,64
		0,39	0,04	9,75	0,67	1,14	0,87	0,02	0,01	3,31	61,63	2,74	0,61
7	Site N° 2, Horizon B, épaisseur 90 cm.	0,45	0,021	21,4	0,77	1,21	1,08	0,02	0	3,13	73,8	5,46	0,87
		0,35	0,018	19,4	0,6	1,09	1,03	0,013	0	3,09	69,03	6,72	0,91
		0,37	0,016	23,1	0,64	1,19	0,94	16	0	3,52	515,1	5,01	1,19
10	Site N° 3, Horizon B, épaisseur 37 cm.	0,35	0,012	29,2	0,6	2,34	1,11	0,08	0,02	4,16	85,34	2,69	0,61
		0,27	0,011	24,5	0,46	2,27	1	0,07	0,03	4,16	81,01	3,87	0,66
		0,23	0,008	28,8	0,4	2,4	1,04	0,08	0,02	4,24	83,49	5,22	0,75
13	Site N° 4, Horizon B, épaisseur 52 cm.	0,253	0,009	28,1	0,44	1,89	1,13	0,04	0,02	4,63	66,52	3,29	0,64
		0,203	0,008	25,4	0,35	1,28	1,18	0,03	0,01	4,39	56,95	3,63	0,61
		0,103	0,008	12,9	0,18	1,67	1,06	0,03	0	4,48	61,61	3,52	0,69

Source : Résultats d'analyse de laboratoire

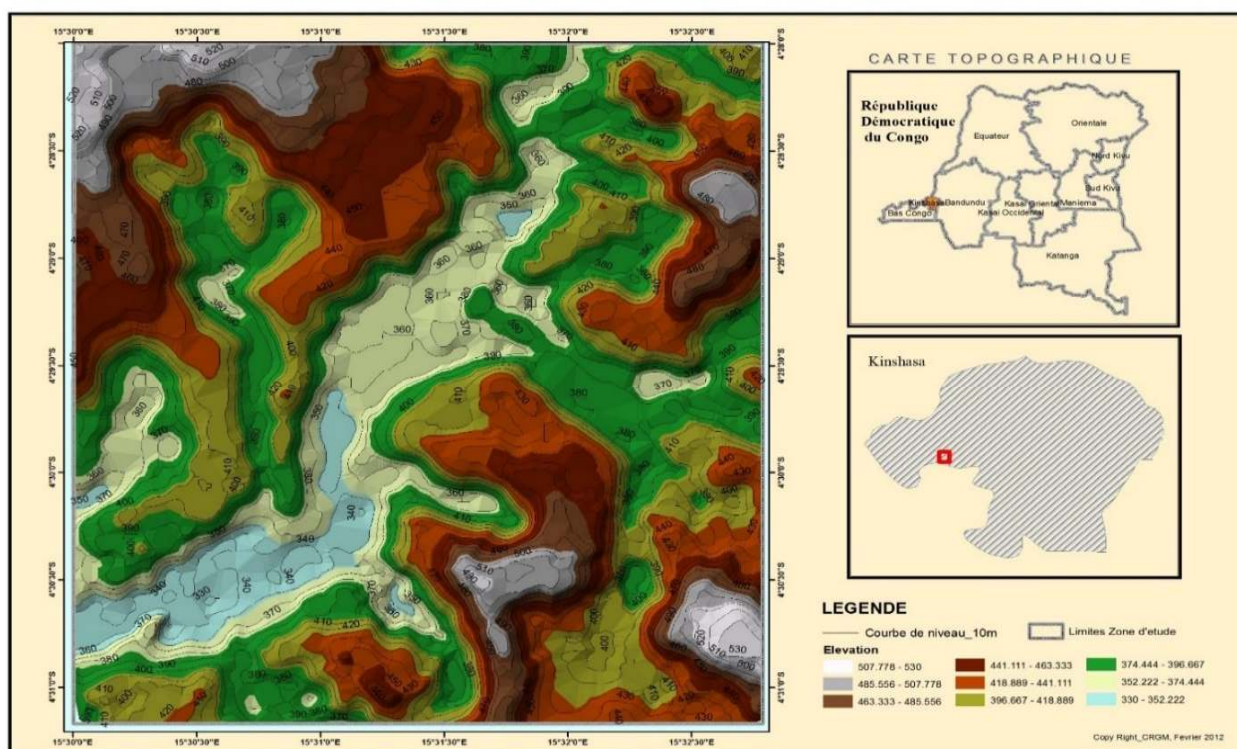
Il découle de l'analyse du tableau 2 que le pourcentage du carbone organique (MO) dans l'échantillon du site 4 est inférieur à ceux des sites 1 - 3 pendant que le taux d'azote au site 1 est supérieur aux trois autres. La matière organique calculée est entre 0,177 et 0,877 % pour tous les horizons. Tandis que les rapports C/N varient entre 0 et 29,17.

Par contre, dans les bases échangeables, leurs milliéquivalents (méc) par 100 g de sol de calcium et de magnésium sont en moyenne plus de soixante fois supérieures à ceux de potassium et de sodium. Les capacités d'échanges cationiques (C.E.C) déterminés se trouvent dans la fourchette de 3,09 à 4,63 méq par 100 g de sol. S'agissant du phosphore assimilable et total, les résultats du site 2 sont plus élevés que ceux des sites 3, 4 & 1. En substance, l'ensemble de ces statistiques permettent de comprendre que le sol est de type léger, mérite d'être amendés pour devenir fertile. Les diverses activités du milieu, quant à elles, concourent à la baisse fertilité de sols et la productivité de sols est très basse. Tous ces résultats d'analyses reportés sur la carte de base a permis d'élaborer le plan de nature de sols ci-dessous.



3.2 ANALYSE DE DONNÉES GÉODÉSIQUES

Le relevé au récepteur GPS a marqué plus de 2500 points géographiques géodésiques sur le terrain, en vue d'une représentation fidèle du relief. Les coordonnées de ces points ont été transformées en coordonnées planes Universal Transverse Mercator (UTM) Fuseau 33 sud indispensables à l'objectif fixé. L'analyse de l'ensemble d'altitudes obtenues indique qu'au milieu du site les accroissements des hauteurs orthométriques sont faibles, tandis qu'au-delà, ils sont élevés. La représentation graphique de ces altitudes est reprise dans la carte topographique ci-dessous.



4 IMPACTS DES ACTIVITÉS HUMAINES

Plusieurs auteurs ([3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]) soulignent la nécessité de connaître les activités humaines pratiquées dans un milieu donné, leur localisation géographique, les ressources naturelles utilisées ainsi que leurs impacts, avant même de le planifier écologiquement.

Ces activités sont l'action humaine sur la flore, l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation irrationnelle des écosystèmes, la cueillette et la récolte pour la survie des populations, l'introduction de diverses espèces exotiques, l'élevage, la chasse, la pêche, la pisciculture et l'implantation de divers équipements sociaux (pont, école, centre médical). Les impacts qui en découlent sont repris dans le tableau 4.

Tableau 4. : Impacts des activités humaines sur l'environnement de Kimpolo I et ses environs

Activité et localisation géographique	Ressources naturelles utilisées	Impacts sur l'environnement + Ampleur
Agriculture itinérante brûlis dans les FH, RF, M, GF.	Sol, portion de végétation, eau, air.	- Pollution du sol, suite à l'emploi d'engrais chimiques par les agriculteurs ; - Rejet des GES dans l'air lors du brûlage des herbes et plantules dessouchées ; - Défrichements favorisant la séquestration du carbone ; - Dénudation de la couverture végétale et modification de la structure du sol ; - Extension des jachères et des recrûs forestiers, épuisement des sols, érosion des sols et pollution des cours d'eau, diminution des capacités de régénération naturelle, perte de diversité génétique ; - Déforestation suivie de pollution négligeable des nappes phréatiques et aquifères par les polluants agricoles. <u>Ampleur : forte</u>
Carbonisation du bois dans les FH, RF, GF.	Sol, air, flore, faune,	- Brûlage de matières nutritives du sol au lieu de préparation ; - Destruction de la flore ; - Rejet de GES dans l'air. <u>Ampleur : forte</u>
Chasse, piégeage dans les FH, RF, M, GF, CE.	Faune, sol, Eau, flore.	- Réduction des espèces animales ; - Infime destruction de la flore lors de cette activité ; - Réduction de la dissémination des espèces végétales, suite à l'errance de la faune, provoquée par la destruction des habitats naturels ; - Réduction de ressources halieutiques et cynégétiques, destruction de la flore et du sol. <u>Ampleur : faible</u>
Etablissements humains + implantations des infrastructures socio-économiques sur la Crête de la FH située au milieu du site étudié.	Air, sol, portion de végétation, eau, faune.	- Destruction de la biodiversité de l'espace occupé spontanément ; - Rejet des GES dans l'air ; - Insalubrité du milieu et de l'habitat ; - Arrachement des toits des cases lors de fortes averses ; - Mauvaise aération et ventilation ainsi que mauvais éclairage des cases ; - Manque d'intimité et d'hygiène du logement, propreté personnelle mal assurée, mauvaise esthétique du logement, eau conservée mais contaminée, difficultés d'évacuation de déchets solides et liquides ; - Prolifération de vermines, mauvaise protection d'aliments contre la décomposition, installations sanitaires inappropriées, manque de solidité des cases et de protection contre les incendies et accidents domestiques, - Disparition de la couche arable du milieu anarchiquement occupé ; - Phénomène érosif consécutif à la localisation de certains sentiers perpendiculaires aux courbes de niveaux ainsi qu'au manque de mise en application des normes des constructions routières ; - Mauvais enseignement des jeunes enfants inscrits à l'école suite à l'esprit mercantile du corps enseignant ; - Liaison du village au reste de Kinshasa de par le pont jeté sur la Hungu. <u>Ampleur : moyenne</u>
Feu de brousse dans les FH, RF, M, GF.	Air, sol, végétation, faune.	- Rejet des GES dans l'air ; - Elévation de la température ; - Destruction et perte de la biodiversité ;

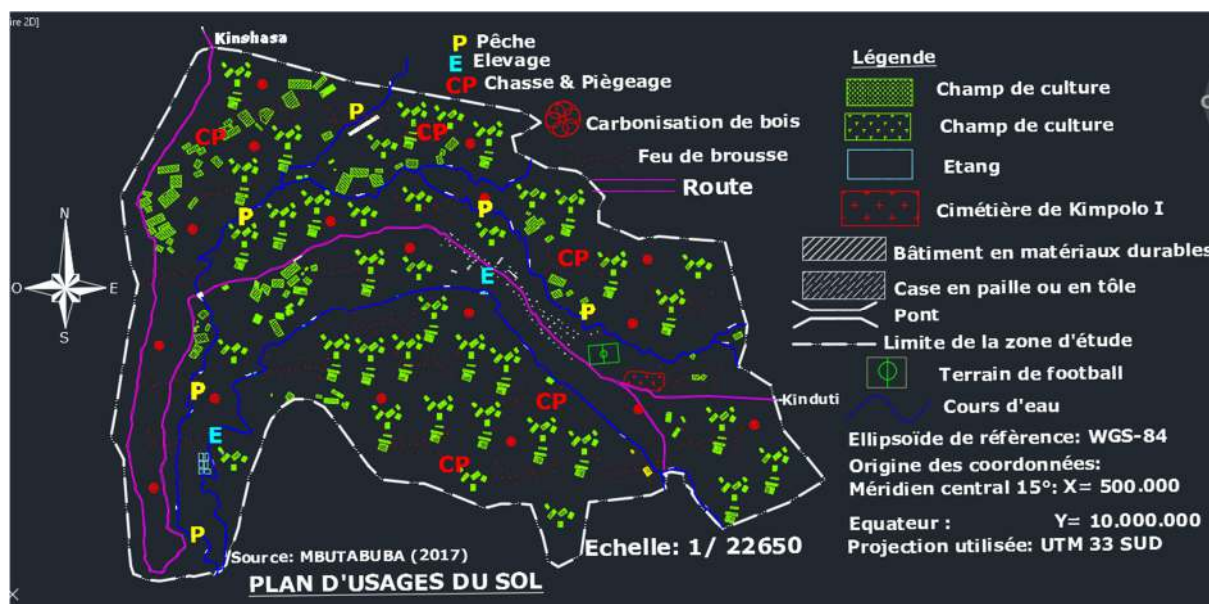
		- Présence des éléments cancérigènes dans les fumées ; -Gaspillage de bois-énergie non utilisés et éloignement de la faune sauvage ; - Brûlage de la litière. <u>Ampleur : forte.</u>
Pisciculture dans les M.	flore, eau, sol, faune.	-Destruction de la biodiversité du milieu ; -Perturbation du régime hydrologique ; -Pollution négligeable des nappes phréatiques. <u>Ampleur : faible</u>
Récolte PFNL dans le site.	Flore, sol.	- Destruction de la flore et dégradation du sol. <u>Ampleur : faible</u>
Exploitation irrationnelle d'écosystèmes dans les FH, RF, M, GF, CE.	Air, sol, végétation et flore, faune, air, eau.	-Fragmentation des écosystèmes et réduction de l'aire minimales des espèces végétales, raréfaction des espèces végétales surexploitées; -Extension des jachères, des espèces végétales anthropogènes et prolifération des espèces exotiques et invasives; -Extension spatiale des espèces des jachères forestières et des forêts secondaires jeunes à large distribution géographique telles que <i>Musanga cecropioides</i>, <i>Elaeis guineensis</i>, <i>Oncoba welwitschii</i> et de quelques espèces cultivées comme <i>Manihot esculenta</i>, <i>Carica papaya</i>,...consécutive au développement des recrûs forestiers ; - Modification du microclimat avec un éclaircissement du sous-bois ; -Exposition totale du sol aux rayons solaires incidents avec élévation de la température ; -Migration et raréfaction des ressources animales suite à la destruction de leurs habitats, disfonctionnement des écosystèmes, habitat de la faune sauvage et réduction de la dissémination de certaines espèces zoochores, assurées par les animaux migrés ; -Activité photosynthétique élevée suite à la croissance ou à la régénération des recrûs forestiers ou des écosystèmes exploités et amélioration du microclimat local en réduisant le taux du CO₂ libre; -Eclaircis qui contribue à la régénération et à l'accélération de la croissance des plantules des essences recherchées consécutive à la coupe des arbustes ; - cours d'eau : réceptacles de toutes sortes des déchets, inondation pendant fortes averses et inaccessibilité temporaire aux champs situés dans les lits majeurs des cours d'eau et ensablement des lignes de thalweg. <u>Ampleur : forte</u>
Pêche + élevage Dans les CE, M.	Eau, sol, faune.	-Réduction des ressources halieutiques ; -Défigurement du paysage naturel suite à la recherche de l'alimentation des certains animaux élevés ; -Transmission des maladies environnementales comme maladie du sommeil. <u>Ampleur : faible</u>
Introduction d'espèces exotiques dans le site.	Sol, flore, eau	-Envahissement des espèces locales et réduction de la diversité biologique des communautés végétales autochtones ; -<i>Chromolaena odorata</i>, constitue un engrais vert pour certaines cultures comme l'arachide, le maïs. <u>Ampleur : forte</u>

Source : Résultats des observations de terrain et de la détermination de l'importance (ampleur) des impacts.

Légende : FH Formations herbeuses, RF Recrûs forestiers, M Marécages, GF Galeries forestières. CE Cours d'eau, PFNL Produits forestiers non ligneux

L'analyse du tableau 4. permet de comprendre que : (i) toutes les pressions anthropiques exercées sur le milieu étudié affectent l'environnement tant biophysique qu' humain, elles sont le fait combiné de la méconnaissance de l'écheveau complexe des interactions des composantes de l'environnement, de l'absence de planification de développement et de bonne politique d'aménagement du territoire, de la persistance et de manque de volonté politique de venir à bout des questions socio-économico-politiques qui rongent les populations ainsi que de la mauvaise gestion de l'espace. Elles sont globalement d'une ampleur considérable; (ii) les conséquences de ces activités humaines exigent la connaissance parfaite de ces milieux et

l'évaluation de l'ampleur des impacts tant environnementaux que sociaux, avant toute intervention dans ces écosystèmes et (iii) il s'avère indispensable d'envisager une contribution en vue de l'aménagement écologique des écosystèmes analysés basé sur la pédologie et la géomorphologie. Toutes ces différentes activités géolocalisées ont été traduites en plan ci-dessous.



5 DISCUSSION

Les analyses pédologiques aident à saisir que : (i) les horizons échantillonnés ont plus de sable [85,49 - 99,21 %] que d'argile [0,51 - 13,13 %] et du limon [0,28 - 2,19 %], (ii) les pH changent d'extrêmement acide (3,78) à neutre (6,02), (iii) les teneurs en carbone organique attestent que le niveau de fertilité des sols du milieu étudié est bas (< 0,8 %), (iv) les taux de matière organique calculés varient entre 0,177 et 0,877 % et correspondent à une très faible productivité, (v) les capacités d'échange cationique déterminées (3,09 - 4,63) associées au type du sol étudié (sablonneux) renseigne que la fertilité de ces sols est en général faible.

Ces résultats certifient ceux trouvés par [14] et [15] qui signalent que les plaines entre N'djili et N'sele sont sur une couverture sableuse du type Kalahari. Ces sols, poursuivent ces auteurs, sont constitués par des sables fins avec une teneur en argile généralement inférieure à 20 %. Ils sont caractérisés par une faible teneur en matière organique et un faible degré de saturation. Toutefois, on y rencontre des sols fertiles notamment, en bordure des cours d'eau.

L'aspect morphologique issu du traitement de données du terrain fait état de courbes très espacées au milieu de l'étendue, très resserrées après l'axe avant d'osciller en dents de scie vers les confins.

Le plan du relief dressé concorde avec les résultats du Centre de Recherches Géologiques et Minières (2012), de l'Institut Géographique du Zaïre (1975) et [16] qui localisent Kimpolo I dans une vallée entourée de cinq cours d'eau surplombée en majorité par des formations herbeuses. Ce qui est effectivement le cas quand l'on examine la carte topographique sus-joint.

Au regard de résultats obtenus, de l'interprétation qui en a découlé, de la nature des activités pratiquées dans le milieu et de l'ampleur de leurs impacts ainsi que des caractéristiques des écosystèmes, il est nécessaire de projeter un aménagement qui concilie à la fois la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources comme le recommandent ([3], [13], [17] et [18]).

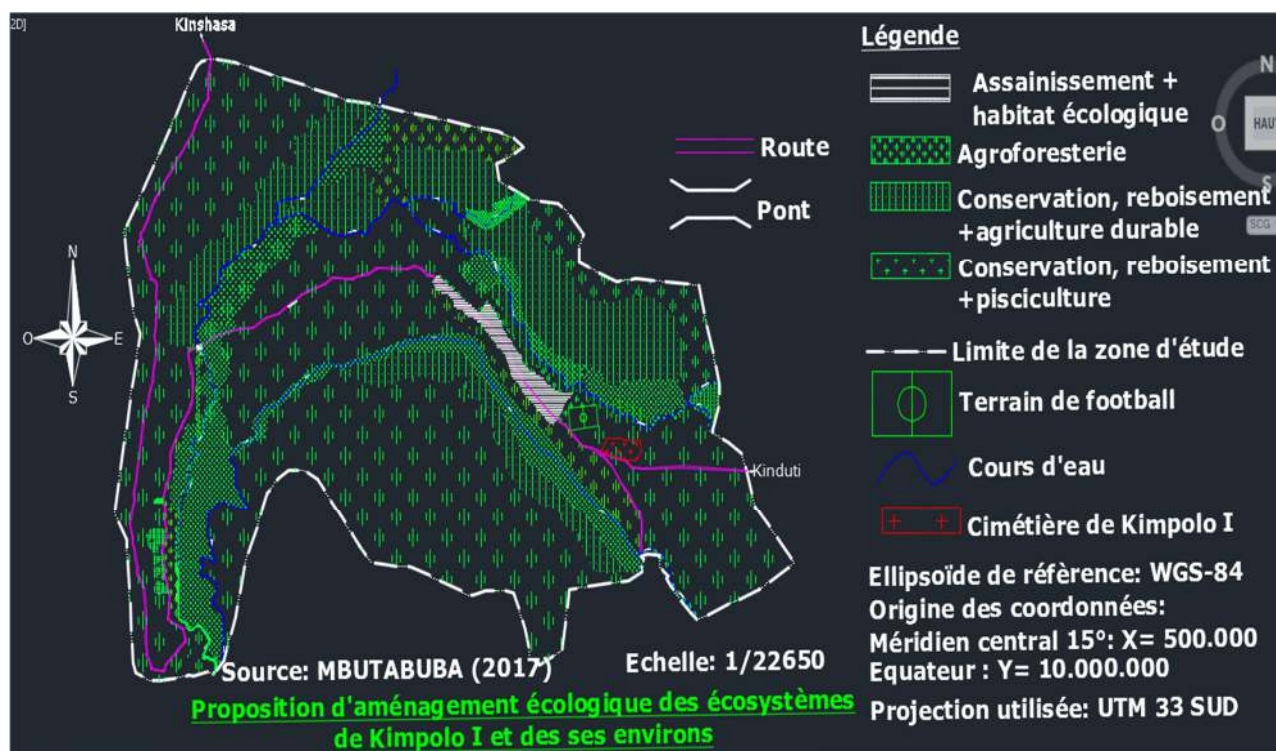
Ainsi, la conservation des écosystèmes de Kimpolo I et de ses environs vise une exploitation à long terme des ressources associée au savoir endogène, en vue d'assurer la permanence de la biodiversité et son évolution. Tandis que l'utilisation de ses ressources nécessite, selon [19] et [20] la prévention de la dégradation des habitats naturels et la préservation de la santé des écosystèmes avec l'implication des populations locales. C'est pourquoi, l'étude propose ce qui suit (Tableau 5.) :

Tableau 5. : Proposition d'aménagement écologique des écosystèmes étudiés

Localisation sur le site	Propositions de planification + motivation
Pentes (recrûs et galeries forestiers en pente + formations herbeuses)	A. Recrûs et galeries forestiers -Conservation + reboisement avec des espèces locales utiles consécutif au risque d'érosion que peuvent connaître les parties très pentues, à la biodiversité qu'ils regorgent, aux services écosystémiques qu'ils peuvent rendre ainsi qu'à l'esthétique paysagère qui peut servir à divers usages. - Aménagement de certains sentiers en lacets aux endroits très pentus, pour pérenniser la circulation des personnes et de leurs biens ainsi que lutter au même moment contre le phénomène érosif ; - Agriculture sans brûlis et avec jachère et biofertilisants pour le meilleur rendement des cultures. B. Formations herbeuses - Agroforesterie en vue de fertiliser le sol sableux de ce type l'écosystème et augmenter les rendements des cultures à pratiquer.
Vallées (formations herbeuses, recrûs forestiers + marécages)	A. Marécages et recrûs forestiers - Conservation + reboisement associés à la pisciculture (marécages) et à l'agriculture (recrûs forestiers) pour des raisons susmentionnées. B. Formations herbeuses -Riziculture sur sol hydromorphe et agroforesterie pour le reste.
Village	- Assainissement pour parer à l'insalubrité qui y règne, à la situation géographique du village sur une ligne de crête entre les rivières Mangemi et Mashe-Mashe ainsi qu'à la nature du sol qui prédispose le site au phénomène érosif ; - Développement d'un habitat de conception écologique (avec élevage de la volaille incorporé) justifié par l'inadaptation des cases aux besoins réels des résidents et le manque d'infrastructures socio-économiques ; - Reboisement de l'artère du village avec des espèces ombrageuses et ornementales pour l'esthétique paysagère du lieu, autour des maisons prospectives avec des taxons fruitiers en vue de contribuer à l'alimentation des habitants. Tandis que dans les confins du village, sur une bande de 20 mètres avec d'espèces antiérosives pour parer au phénomène érosif naissant autour du village eaux vents violents qui emportent les cases pendant des fortes averses.
Plateaux (formations herbeuses)	-Agroforesterie en vue de fertiliser le sol sableux de ce type l'écosystème et augmenter les rendements des cultures à pratiquer.

Source : Résultats de terrain

Toutes ces propositions ont été traduites en carte ci-dessous.



6 CONCLUSION

La contribution de la pédologie et de la géomorphologie à la planification écologique des écosystèmes de Kimpolo I et de ses environs étudiée a consisté à analyser les échantillons de sols prélevés sur le terrain ainsi qu'à représenter graphiquement le relief à partir de données spatiales. Il avait pour objectifs de proposer un aménagement écologique d'écosystèmes étudiés par une approche pédo-géomorphologique.

L'analyse des échantillons des sols a indiqué que les sols sont globalement sablonneux et moins fertiles bien que les bordures des cours d'eau soient appropriées aux activités agricoles. Quant au relief, il est très varié. Par ailleurs, les activités humaines dans ce milieu impactent négativement tous les écosystèmes et leur ampleur est considérable. Ces conséquences requièrent la connaissance parfaite du milieu (il s'agit dans ce cas d'espèce de la pédologie, de la géomorphologie et de la flore) avant toute intervention, c'est pourquoi, nous avons proposé : (i) la conservation, le reboisement, l'aménagement des sentiers ainsi que l'agriculture durable pour les recrûs forestiers en pentes ainsi que l'agroforesterie pour les formations herbeuses sur terre ferme et la riziculture en sol hydromorphe ; (ii) la conservation et le reboisement associés à la pisciculture (marécages) ; (iii) l'assainissement, le développement d'un habitat de type écologique et le reboisement avec les espèces ornementales, ombrageuses et fruitières pour le village et (iv) l'agroforesterie pour les plateaux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'autorité coutumière de Kimpolo I qui a mis à la disposition de l'équipe de terrain des guides dans les différents écosystèmes. Nos remerciements vont également au responsable de Laboratoire de Pédologie de la Faculté des sciences Agronomiques de l'université de Kinshasa, qui nous a permis d'effectuer les analyses d'échantillons de sols.

REFERENCES

- [1] CRAAQ, *Guide de référence en fertilisation*, Ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Sainte-Foy, 2003.
- [2] R. Doucet, *Le climat et les sols agricoles*, Ed. Berger, 2006.
- [3] I. Mac Harg, *Design with Nature*, Nature History Press, 1969.
- [4] G. Long & Al., *Diagnostic phytoécologique et Aménagement du territoire*, Editions Masson et Cie, 1975.
- [5] D. Poore, "Planification écologique", *Les Tropiques*, vol. IV, n° 110, pp.16-20, 1975.
- [6] Gounot et Guldmann, "Ressources naturelles et aménagement de l'Alsace", *Centre de recherches forestières des Laurentides*, Rapport d'information Q-F-X-32, 1976.
- [7] J. Harrison, "The Rôle of Earth Science in Ecological Planning", *Classification écologique (biophysique) du territoire dans les régions urbaines*, Série de la classification écologique du territoire, n° 3, pp. 19-25, 1977.
- [8] H.E. Hirvoen, "The Rôle of Urban Forestry", *Regional Landscape Design*, Forestry Chronicle, vol.53, n°5, pp. 275-280, 1977.
- [9] M. Jurdant, J. Beaulieu, J.L. Belair, J.C. Dionne et V. Gerardin, "Carte écologique de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Notice explicative", *Centre de recherches forestières des Laurentides*, Rapport d'information Q-F-X-31, 1972.
- [10] R. Lang, A. Armour, *Livre-ressource de la planification de l'environnement*, Direction générale des terres, Multiscience Publication Limitée, 1980.
- [11] L. Belanger et M. Pineau, "La planification écologique et l'aménagement du territoire urbain québécois: une problématique", *Cahiers de géographie du Québec*, vol.27, n°70, pp. 5-21, 1983.
- [12] A. Bouchard, Y. Bergeron, C. Camire, P. Gangloff et M. Gariepy, "Proposition d'une méthodologie d'inventaire et de cartographie écologique: le cas des municipalités régionales de comté(MRC) du Haut-Saint-Laurent", *Cahiers de géographie du Québec*, vol.29, n°76, pp. 79-95, 1985.
- [13] J. Tarlet, *La planification écologique: méthodes et techniques*, Editions Economica, 1985.
- [14] Deploey & Roels, *Quelques indices sur l'évolution morphologique et paléo climatique des environs de Stanley Pool (Congo)*, Edition de l'Université, 1963.
- [15] M. Habari, *Etude floristique, phytogéographique et phytosociologique de la végétation de Kinshasa et des bassins des rivières N'djili et N'sele en République Démocratique du Congo*, Thèse de Doctorat, Faculté des sciences/Département de Biologie, Université de Kinshasa, 2009.
- [16] M. Pain, *Kinshasa: Organisation et écologie urbaine*, Thèse de doctorat, Faculté des sciences, Université de Toulouse, 1979.
- [17] BMELF, 1985, *Umweltverträglichkeitsprüfung für raumbezogene Planungen und Vorhaben - Verfahren, methodische Ausgestaltung und Folgerungen*, In: GTZ/BMZ, *Manuel l'environnement Volume I: Instructions, planification multisectorielle, infrastructures*, Editions Vieweg, pp.9-31, 1995.
- [18] L. THÖNI & Al., *Ökologische Planung: Ergebnisse der Fallstudie Bündner Rheintal* (Teil 1: Grundlagen und Ziele der Fallstudie; Teil 2: Charakterisierung der Immissionssituation Luft), In: GTZ/BMZ, *Manuel l'environnement Volume I: Instructions, planification multisectorielle, infrastructures*, Editions Vieweg, pp.91-8, 1995.
- [19] PNUE & PNUD, 1992, *Ressources mondiales 1992- 93, un guide de l'environnement global-Vers un développement durable*, Ed. ACCT, 1992.
- [20] GTZ/BMZ, *Manuel l'environnement Volume I: Instructions, planification multisectorielle, infrastructures*, Editions Vieweg, 1995.

Synthèse géologique et métallogénique du gisement aurifère d'Iourirne (Boutonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc)

[Geological and metallogenic synthesis of the Iourirne Gold deposit (Tagragra of Akka inlier, Western Anti-Atlas, Morocco)]

Mohamed BENBRAHIM^{1,2}, Mohamed AISSA², and Mohamed ZOUHAIR³

¹Regional Centre for the Education and training, Inezgane, Morocco

²University Moulay Ismail, Faculty of science, department of geology, laboratory of studies of mineral and energy, P.O. Box 11201, Zitoune, Meknes, Morocco

³Group MANAGEM / Twin Center, Tower A, Casablanca, Morocco

Copyright © 2018 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: Iourirne gold deposit is located 260 km to the southeast of Agadir, in Tagragra of Akka inlier (Western Anti-Atlas). The gold mineralization occurs in quartz veins associated with shear zones occurring in E-W direction and cut across the Early Neoproterozoic formations, especially from the dykes of diorite to quartz diorite in the direction from Northeast-Southwest to East-West. Gold is relatively more concentrated in the microcrystalline quartz type (QII). The paragenesis linked to this stage is composed of arsenopyrite, pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite. The likely fluid of the establishment of Iourirne gold mineralization is a type L aqueous fluid with a homogenization temperature of 180 – 260°C (mode of 217°C) with a low salinity. This gold mineralization has been placed in the quartz veins of shear zones as a result of the paleofluids interaction flowing under the effect of thermal gradients and tectonic motion operating on fault-valve with magmatic and metamorphic surrounding rocks.

KEYWORDS: Gold mineralization, Fault-Valve, Iourirne, Tagragra of Akka.

RÉSUMÉ: Le gisement aurifère d'Iourirne est situé à 260 km au Sud-Est d'Agadir, dans la boutonnière de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental). La minéralisation aurifère se présente dans des filons quartzeux, associés à des zones de cisaillement de direction E-W et recoupant les formations du protérozoïque inférieur, particulièrement des dykes de type diorite à diorite quartzique de direction NE-SW à EW. L'or est relativement plus concentré dans le quartz microcristallin type (QII), la paragenèse liée à ce stade, est composée d'arsénopyrite, pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite. Le fluide probable de mise en place de la minéralisation aurifère d'Iourirne, est un fluide aqueux de type L, montrant une température d'homogénéisation de 180°C à 260°C (mode à 217°C), avec une salinité faible. Cette minéralisation aurifère s'est mise en place dans les filons quartzeux des zones de cisaillement, suite à l'interaction de paléofluides, circulant sous l'effet de gradients thermiques et de jeux tectoniques fonctionnant en valves sismiques, avec l'encaissant magmatique et métamorphique.

MOTS-CLEFS: Minéralisation aurifère, Valves sismiques, Iourirne, Tagragra d'Akka.

1 INTRODUCTION

Le gisement d'ourirne est situé dans l'Anti-Atlas occidental à 260 Km au Sud-Est d'Agadir (Figure 1a). L'activité minière à ourirne remonte à la période du règne des Almohades (Ere de l'or au Maroc entre XIIe XIIIe siècle) comme en témoignent de nombreux grattages anciens qui peuvent aller jusqu'à 12 m de profondeur. La minéralisation aurifère a été signalée pour la première fois dans la boutonnière de Tagragra d'Akka par les Auteurs de [1]. en 1939, suite à une campagne d'exploration de l'or dans l'Anti-Atlas. Depuis cette période, La minéralisation aurifère du gisement d'ourirne a fait l'objet de nombreux travaux de recherche [2 - 5] ; le gisement d'ourirne montre une problématique caractériser par la variation de teneurs en or au niveau des filons de quartz aurifère d'une façon verticale et latérale, ce qui donne un grand intérêt à notre travail qui a pour but de présenter les principaux résultats d'une approche pluridisciplinaire sur le gisement d'ourirne ; qui vise la contribution à une meilleure compréhension des processus métallogéniques à l'origine de la plus grosse concentration d'or connue au Maroc. Il s'agit de définir les métallotectes permettant d'aider à la mise en évidence des nouvelles occurrences métalliques.

Ce travail a pour objectifs de :

- Déterminer les relations génétiques entre les différents types d'altérations, supergène et hydrothermale d'une part, et la minéralisation aurifère d'autre part ;
- Définir les relations chronologiques entre les différents filons minéralisés et de préciser la géométrie des corps minéralisés ;
- Faire une étude détaillée des sulfures et de l'or et à l'étude préliminaire des inclusions fluides, en vue de caractériser le transport et le dépôt de l'or.

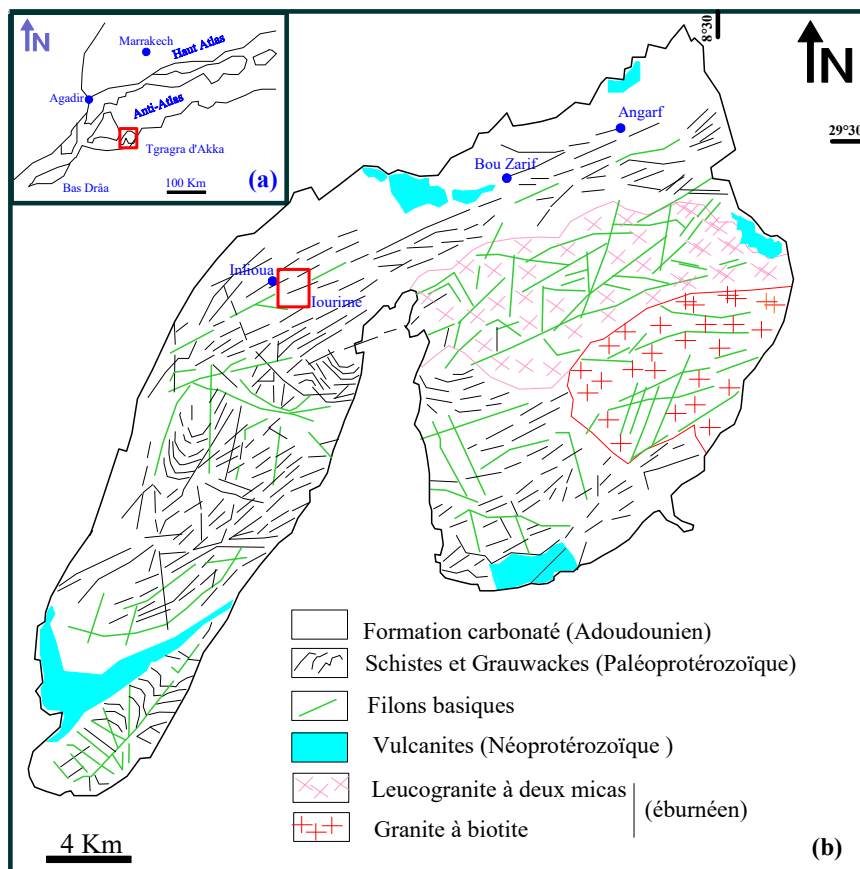


Fig. 1. Carte géologique simplifiée montrant (a)- Situation de la boutonnière de Tagragra d'Akka et (b)- Carte géologique de Tagragra d'Akka et situation de gisement aurifère d'ourirne [6 - 9].

2 MÉTHODOLOGIE

Diverses méthodes ont été mises en œuvre pour contribuer à la compréhension de la mise en place de cette minéralisation :

- Un travail de terrain ayant permis d'élaborer une carte géologique du gisement d'lourirne au 1/2 500, de réaliser un échantillonnage dans les filons à quartz aurifère des structures (B, C, D, D' et F, F') dans différents niveaux au contact de l'encaissant magmatique et métamorphique. Les échantillons ont fait l'objet ensuite d'une étude macroscopique, microscopique et géochimique pour caractériser les paragenèses minéralogiques.
- Des analyses chimiques qualitatives réalisées sur les sulfures et l'or par microsonde électronique aux laboratoires des universités Paris-6 et Orléans en France et par microscope électronique à balayage du centre de recherche Réminex exploration au Maroc.
- L'analyse détaillée des inclusions fluides piégées dans plusieurs générations de quartz des filons aurifères et des failles plates. Cette étude, effectuée au laboratoire UMR 8110 «Processus et Bilan des Domaines Sédimentaires » et FDR 1818, UFR des sciences de la terre de Lille 1, a été réalisée dans l'objectif de déterminer les caractéristiques physico-chimiques, densité,...) et les conditions thermobarométriques du ou des fluides responsables du transport et du dépôt de la minéralisation aurifère d'lourirne.

3 CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL ET LOCAL

La boutonnière de Tagragra d'Akka est située dans l'Anti-Atlas occidental (Figure 1a). Elle est composée d'un socle d'âge précambrien et d'une couverture de nature dolomitique d'âge infracambrien et subdivisée géographiquement en deux lobes (Figure 1b).

Le lobe oriental :

Caractérisé par l'abondance de massifs granitiques de type leucogranite à deux micas et granite à biotite d'âge éburnéen. Ces massifs granitiques sont intrusifs dans des formations métamorphiques et volcano-sédimentaires, d'âge Paléoprotérozoïque. L'ensemble de ces formations est traversé par des dykes (de gabbro, de granodiorite et de dolérite...) ([7, 8, 10, 11, 12]).

Le lobe occidental :

Formé de roches métamorphiques, volcano-sédimentaires et des dykes de même nature et de même âge que ceux du lobe oriental. Le secteur d'lourirne, objet de cette étude, appartient à ce lobe occidental où affleurent les faciès suivants (Figure 2) :

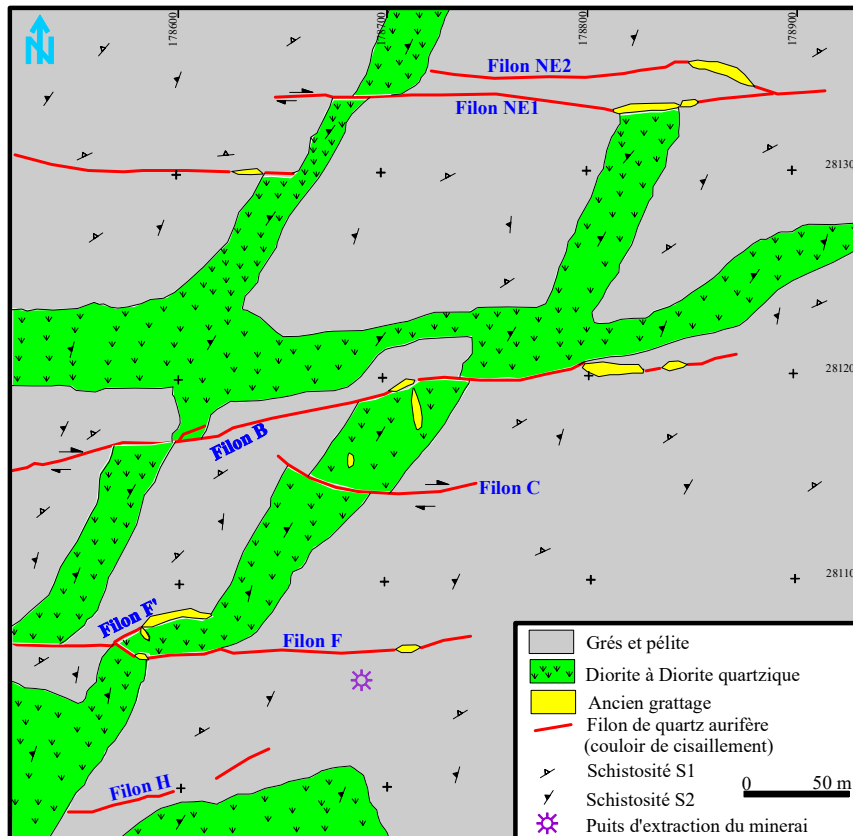


Fig. 2. Carte géologique du domaine minier d'Iourirne [13 - 14]

- les formations sédimentaires du Paléoprotérozoïque : constituées par des alternances grés-pélitiques, métamorphisées dans le faciès schiste vert et affectées par une schistosité principale S1 associée aux phases de déformation éburnéenne. Celle-ci est généralement subparallèle à la stratification S0, [13]. Elle est caractérisée par une direction N30°E à N75°E et un pendage de 60°NNW. Une deuxième schistosité S2, d'orientation générale N05°E à N35°E avec un pendage de 55°WNW, elle est attribuée aux premières phases de déformation panafricaine.
- les intrusions magmatiques : se présentent sous forme de dykes de diorite à diorite quartzique qui recoupent les formations sédimentaires précédentes dans des directions NE-SW et E-W [13].
- les filons à quartz aurifère : se développent dans des couloirs du cisaillement orientés globalement E-W. Ils recoupent toutes les formations précédentes en marquant un jeu apparent dextre et un rejet latéral de 25m, au niveau des dykes de diorite quartzique. Les filons aurifères qui ont été exploités à Iourirne, par Akka Gold Mining, connus sous les noms de structures NE1, NE2, B, C, D, D', F, F' et H ; ont une extension de plusieurs dizaines de mètres (60 m environ), avec une puissance moyenne de 1 m. Ils montrent des pendages subverticaux orientés Nord-Ouest.

4 PARAGENÈSE MINÉRALE

La minéralisation aurifère d'Iourirne se présente sous forme de lentilles, veines ou filons de direction EW. Ils sont à texture bréchique et recoupent toutes les formations préexistantes, particulièrement la formation magmatique de type diorite quartzique, où le jeu dextre des structures est bien représenté. Le remplissage des filons est formé de quartz, de chlorite, de muscovite, de carbonate et des sulfures (arsénopyrite, pyrite, chalcoppyrite, pyrrhotite). Le quartz, dont on distingue plusieurs générations, forme la gangue principale de la minéralisation aurifère d'Iourirne. Les différents stades métallogéniques probables dans la zone d'Iourirne sont (Figure 3) [14] :

- Stade 1 : Au cours duquel se mettent en place les quartz blanc laiteux type Q I et Q I-II. La paragenèse sulfurée associée à ce stade est composée de l'arsénopyrite I, la pyrite I, la pyrrhotite et la chalcoppyrite.
- Stade 2 : Marqué par un événement tectonique entraînant la déformation du quartz laiteux. Celle-ci s'accompagne de la recristallisation d'une nouvelle génération de quartz microcristallin type (Q II). La paragenèse sulfurée liée à ce

stade, est composée d'arsénopyrite I et II, pyrite I, pyrrhotite, chalcoppyrite. Ce stade développe une importante concentration d'or.

- Stade 3 : Caractérisé par le développement des veines de quartz (Q III). La paragenèse sulfurée associée à ce stade est composée d'arsénopyrite II, pyrite II, pyrrhotite et chalcoppyrite, l'ensemble est traversé par des veinules à séricite.
- Stade 4 : Marqué par la cristallisation du quartz automorphe (Q IV) et par l'abondance de carbonates et de pyrite III.
- Stade 5 : C'est un stade supergène dont l'altération superficielle des paragenèses métalliques a été observée. Elle consiste en la formation de la paragenèse à malachite, azurite, covellite, hématite, magnétite. Cette paragenèse a été observée dans toutes les occurrences du gisement d'Iourirne. Ceci montre que la succession des remplissages hydrothermaux des filons aurifères a été très homogène à l'échelle de tout le gisement.

L'or s'exprime en grains libre (pépites), dont les observations au microscope métallographiques et au MEB, ont permis de déterminer les différentes expressions de la minéralisation aurifère d'Iourirne [15]. L'or se met souvent en place dans :

- Les pores et les microfissures affectant l'arsénopyrite, la pyrite, la chalcoppyrite et la pyrrhotite.
- Les espaces intergranulaires et les microfissures au niveau du quartz Q I-II et Q III.
- Le quartz microcristallin Q II.

La gangue de la minéralisation aurifère est constituée essentiellement de quartz.

5 ETUDE DES INCLUSIONS FLUIDES

L'examen microscopique des inclusions fluides des échantillons récoltés à différents niveaux des structures B et F (critères morphostructuraux, degré de remplissage vapeur, contenu de l'inclusion à température ambiante et mode d'association), a permis de déterminer deux types d'inclusions fluides dans les quartz des filons aurifères et deux types dans les quartz stérile des failles plates. Qui sont bien tardives par rapport à la minéralisation aurifère [16].

Phases	Hydrothermale				Supergène
Stades	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Minéraux					
Quartz					
Q I	—				—
Q I-II	—	—			—
Q II		—			—
Q III			—		—
Q IV				—	—
Chlorite I	—				
Chlorite II			—	—	
Muscovite I	—				—
Muscovite II			—	—	—
Carbonate		—	—	—	—
Tourmaline	—	—			
Arsénopyrite I	—	—			
Arsénopyrite II			—	—	
Pyrite I	—	—			—
Pyrite II			—		—
Pyrite III				—	—
Pyrrhotite	—	—			
Galène	—	—			
Chalcoppyrite	—	—			
Malachite					—
Azurite					—
Hématite					—
Magnétite					—
Covéllite					—
Or	—	—	—		—

Fig. 3. Stades paragenétiques du gisement aurifère d'Iourirne [13]

5.1 LE QUARTZ DES FILONS AURIFÈRES (QI)

5.1.1 LES INCLUSIONS FLUIDES DE TYPE S

Ces inclusions ont été observées dans les zones de surcroissances du quartz Q I dont elles sont vraisemblablement contemporaines (inclusions primaires). Elles sont triphasées à liquide, vapeur et solide, leur remplissage en vapeur, RV, est de l'ordre de 20 %. Elles sont de petite taille (3 à 10 μm). Au refroidissement, elles montrent la fusion de la glace entre -26.9° et -23.4° C avec un mode à $-25.4^\circ \pm 0.9^\circ\text{C}$ et une température eutectique beaucoup plus basse mais qui n'a pas été déterminée avec précision. Néanmoins, ces mesures traduisent une très forte salinité ($>20\%$ eq. poids NaCl) de ces inclusions fluides et aussi une composition complexe du système fluide qui comporte vraisemblablement, en plus de H_2O -NaCl, d'autres cations bivalents (Ca^{++} , Mg^{++} ...). Les Th mesurées sont comprises entre 180° et 300° C avec un mode à 240° C.

5.2 LE QUARTZ DES FILONS AURIFÈRES (QII, QIII)

5.2.1 LES INCLUSIONS FLUIDES DE TYPE L

Ces inclusions sont biphasées à liquide - Vapeur et ont une taille de 2 à 10 μm . Leur remplissage en vapeur, RV, varie entre 10 et 20 %. Les inclusions se répartissent dans un quartz clair et riche en sulfures. Au refroidissement, elles ne montrent qu'une seule transition de phase correspondant à la fusion de la glace. Celle-ci s'étale entre -4.3°C et -0.9°C avec un mode de $-2.3^\circ \pm 0.6^\circ\text{C}$. Cette température correspond à une salinité de $3.8^\circ \pm 0.6\%$ eq. poids NaCl [17]. Les températures d'homogénéisation

Th s'étalent sur un intervalle très large allant de 121.8° à 306.8°C qui peut être restreint à une fourchette comprise entre 180° et 260°C (217° C) (Figure 4). Certaines de ces inclusions décrépitent à des températures de l'ordre de 270°C et 370°C.

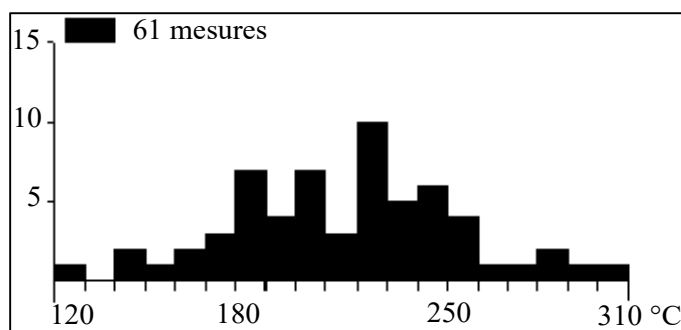


Fig. 4. Histogramme des Th des inclusions fluides de type L des quartz aurifères

5.3 LE QUARTZ STÉRILE (QIV)

5.3.1 LES INCLUSIONS FLUIDES DE TYPE C

Dans le quartz stérile des failles plates tardives, des inclusions fluides aquo-carbonées (type C) ont été mises en évidence. Elles sont constamment présentes et abondantes dans ce quartz. Le refroidissement de ces inclusions qui sont soit triphasées à liquide – vapeur – solide soit biphasées liquide – vapeur à température ambiante, permet d'en distinguer deux types :

5.3.1.1 TYPE C1

Les inclusions fluides de type C1 sont disposées en de petits alignements intragranulaires. Elles ont une forme de cristal négatif et sont de petite taille (10 µm maximum). Ces inclusions sont biphasées à température ambiante (L-V) et leurs phases vapeurs, dont RV est estimé à 40 %, n'ont jamais montré la démixtion d'une phase liquide qui correspondrait à un composé carbonique ou carboné. Les seules transitions de phases mesurées dans ces inclusions sont la fusion du clathrate (Tfc) et la température d'homogénéisation totale. Les Tfc sont relativement élevées (de 14.2 à 17.8°C ± 1.1°C). Ces données indiquent la présence de quantité non négligeable de CH₄ dans ces inclusions (phase vapeur assimilée à CO₂-CH₄). Les températures d'homogénéisation sont très étalées, entre 230° et 290°C.

5.3.1.2 TYPE C2

Il s'agit d'inclusions fluides généralement de grande taille (23 µm maximum), de formes allongées et présentant un RV variable de 30 à 50%. Le refroidissement de ces inclusions fluides qui sont triphasées à température ambiante entraîne la démixtion d'une phase carbonée liquide à partir de sa phase vapeur vers - 6.8° C. Elles sont disposées en traînées, le long de petits plans intragranulaires. Un certain nombre de ce type d'inclusions montre le développement de remarquables phénomènes d'étranglement (necking-down) et/ou de décrépitation. La température d'homogénéisation totale se fait en phase liquide entre 230.5° et 338.5°C (266 °C). La démixtion de la phase vapeur a été observée dans ce type d'inclusion à des températures comprises entre -6.3 et -7.4°C. Une première interprétation qualitative est faite à partir des données et des résultats exposés ci-dessus. La phase vapeur est dominée par CO₂, mais les TfCO₂ plus basses que -56.6°C et les Thv largement inférieures à -31°C (point critique de CO₂) traduisent la présence d'un autre constituant carboné dans cette phase et qui est vraisemblablement le CH₄.

6 DISCUSSION

La minéralisation aurifère se présente sous forme de veines associées aux plans de cisaillement et/ou aux fentes de tension :

- Les veines dans les zones de cisaillement ont une épaisseur qui varie de quelques centimètres à plus de 3 mètres, avec localement des zones de dilatation en forme sigmoïde richement minéralisées. Les variations, de la granulométrie et des compositions minéralogique et géochimique des différentes roches encaissantes de la minéralisation ont une influence

considérable sur le comportement mécanique de la roche hôte, et donc sur la géométrie des filons minéralisés. Dans une roche fortement isotrope et compétente, telle que la diorite quartzique, le cisaillement se développe le long d'un plan unique et régulier présentant un contact tranchant avec les épontes, avec au toit, une bande de cisaillement et au mur, quelques veinules de Riedel et fentes de tension. A l'opposé, une fracture dans un encaissant métamorphique (schistes), les structures minéralisées correspondent généralement à d'épaisses zones de broyages contenant des lambeaux de l'encaissant de taille variable attestant le caractère hydraulique de la brèche.

- Les fentes de tension R (Riedel) : Elles se rencontrent le plus souvent sous forme de relais entre les veines dans les zones de cisaillement appartenant au système Est-Ouest. Economiquement, ces veines présentent des concentrations importantes en or avec de faible puissance (teneur moyenne de 18 g/t pour une puissance moyenne de 1 m). Les principales caractéristiques de ces veines transtension sont traduites par la présence de textures rubanées formées par les cristaux d'arsénopyrite I et II, quartz et/ou ankérite, indiquant de multiples épisodes, d'ouverture et de remplissage. Lorsque ce type de fracture est minéralisé, il est principalement rempli de quartz massif, rubané (Photos 1 et 2), caractérisée par l'alternance de rubans clairs et sombres avec une puissance variable de 0,1 cm à 8 cm. Les rubans clairs sont constitués de quartz macro-cristallin avec de l'arsénopyrite bien cristallisé et les rubans sombres sont formés de quartz microcristallin et sulfures. Ce qui permet de penser à un système d'ouvertures successives (Figure 5). Ce premier type de filon est peu bréchifié.

Dans la majorité des cas, les filons du quartz aurifère d'ourirne présentent des textures rubanées, suggérant fortement une formation par le mécanisme de fracturation colmatage (crack-seal), démontré par ailleurs de manière extrêmement fréquente dans les filons hydrothermaux de type shear-zone. Ce type de texture est une caractéristique des contextes tectoniquement actifs. Le remplissage est parfois fibreux, avec des lits d'inclusions minérales parallèles aux épontes [18].

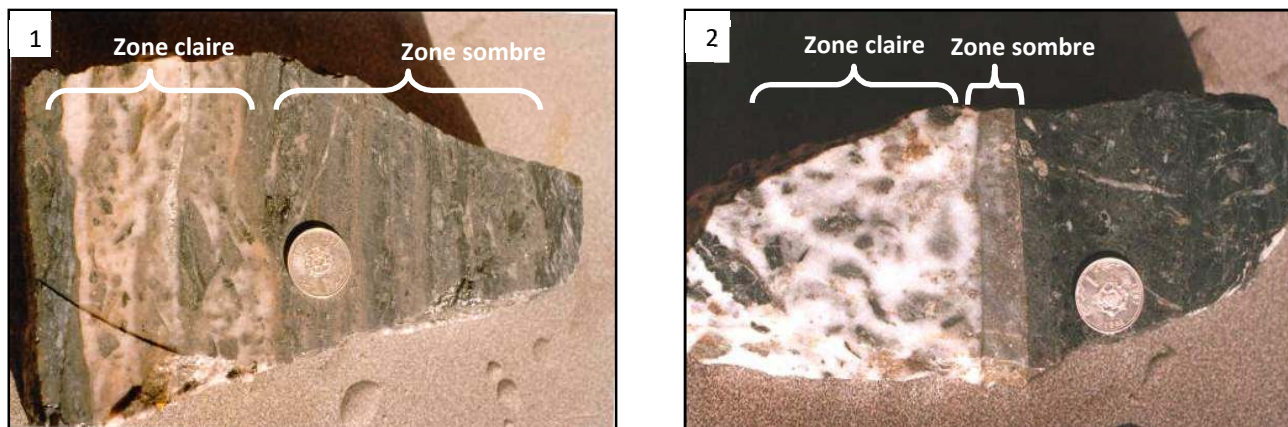
Les fluides drainés dans la zone de fracture s'accumulent au niveau où la faille est colmatée et l'augmentation de la pression fluide conduit à la rupture de la roche et à l'ouverture de fentes où s'échappent les fluides. La pression chute entraînant la précipitation de minéraux et le colmatage des fentes. Ce comportement cyclique de la pression fluide, est connu sous le nom de valve sismique [19] ; Ce phénomène est généralement utilisé pour expliquer la formation des filons de cisaillement aurifère [20].

Sibson et al. [21] ont proposé le modèle de valves sismiques, pour expliquer la mise en place des quartz aurifères d'Abitibi, et qui consiste à relier d'une façon adéquate la minéralisation et le fonctionnement sismique de la faille. Dans l'état actuel des connaissances nous proposons, sur une base analogique, ce modèle pour l'explication de la mise en place de la minéralisation aurifère à ourirne. Le principe de ce mécanisme repose sur l'analyse du cycle sismique, faisant alterner des épisodes de mise sous contrainte et de relâchement. Un cycle comporterait plusieurs étapes : accumulation des fluides dans une faille, déstabilisation et rupture, circulation de fluide puis colmatage du conduit. Dans le gisement d'ourirne l'effet de l'augmentation de la tension des contraintes (Figure 6a) entraîne une augmentation de la pression fluide jusqu'à atteindre la pression hydrostatique ce qui entraîne la rupture avec l'ouverture de la veine et dépôt de la minéralisation, ce phénomène est accompagné par une bréchification hydraulique (Figure 6b) [22]. Par la suite le fluide absorbe une partie de la pression moyenne, la veine tend alors à se refermer.

Les veines d'extension présentent le maximum de minéralisation et un minimum de déformation, car elles montrent le maximum d'ouverture où le fluide minéralisateur ne trouve aucune difficulté de cumuler son contenu. Par contre, les veines de cisaillement montrent le minimum de minéralisation et une importante déformation. Ceci est certainement dû au jeu cisailant de ces structures (Figures 6c et 6d).

La Figure 6e, présente l'évolution des fluides identifiés par l'étude préliminaire des inclusions fluides à ourirne en fonction de la température. Elle montre que le fluide L responsable de dépôt de la minéralisation aurifère est contrôlé par plusieurs facteurs thermodynamiques : Variation de température (T), pH, la fugacité d'oxygène (fO_2), l'activité de H_2S et la composition du fluide.

Ce mécanisme de déformation en valves sismiques est souvent accompagné par un phénomène de mylonitisation. Le piégeage de l'or dans le quartz microcristallin est un phénomène très commun dans les shear-zones aurifères. Il provient du broyage des formations en créant des conditions favorables à la circulation des solutions minéralisantes et au piégeage de l'or. Il est probable que dans le milieu siliceux microporeux, constitué par une mylonite de quartz ou un gel de silice, les cristaux de sulfures créent un micromilieu qui provoque la précipitation de l'or drainé par les fluides hydrothermaux. Le dépôt de la minéralisation aurifère serait donc un phénomène continu et cumulatif qui persisterait tant que le milieu microporeux serait maintenu, c'est-à-dire durant toutes les phases d'activité de la shear-zone.



Photos 1 et 2 : Textures rubanées des filons du quartz aurifère avec la distinction de zones claires et de zones sombres. (Oeil nu)

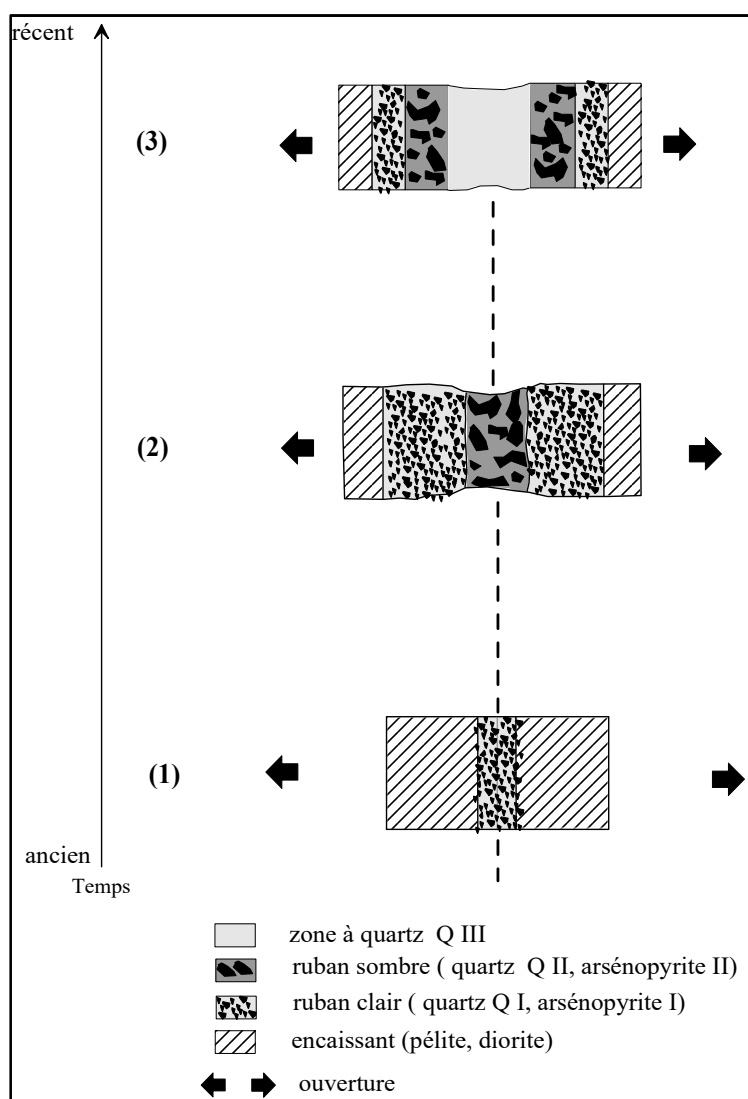


Fig. 5. Schéma de l'évolution d'un filon de quartz aurifère (en fente = R) d'Iourine en fonction du temps [13].

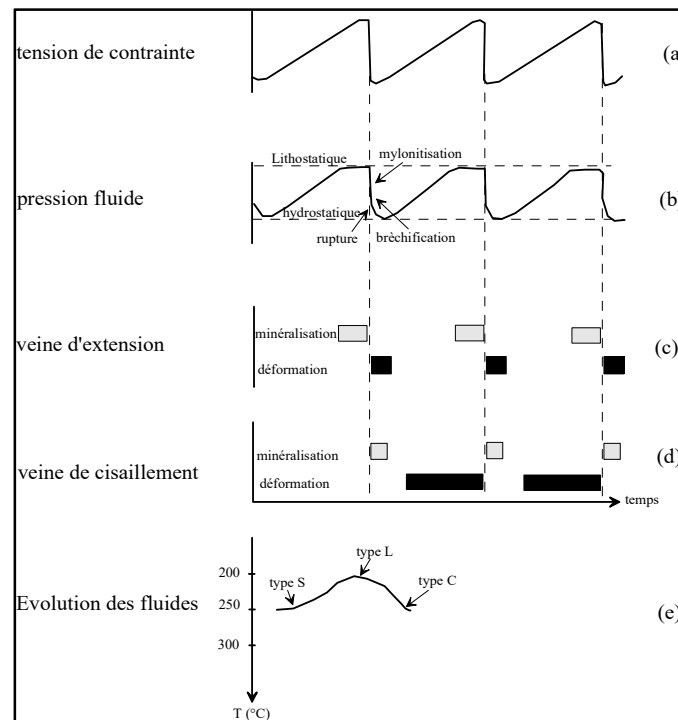


Fig. 6. Relation entre les contraintes de cisaillement, pression de fluide, minéralisation et les fluides en fonction de temps dans les filons de quartz aurifère d'Iourirne [13].

7 CONCLUSION

La minéralisation aurifère d'Iourirne est encaissée dans des roches métamorphiques cisailées. Elle se présente sous forme de filons quartzeux de direction EW et de texture bréchique. Différents stades paragenétiques ont été mis en évidence dans la zone d'Iourirne. Ils sont caractérisés par :

- L'abondance de quartz macrocristallin (QI) et un quartz intermédiaire (QI-II), auxquels sont associés des sulfures (arsénopyrite I, pyrite I, pyrrhotite, chalcopryrite) (stade 1).
- Une mylonitisation importante favorisant le développement d'un quartz microcristallin QII. La paragenèse sulfurée associée à ce stade est composée de l'arsénopyrite I et II, la pyrite I, la pyrrhotite et la chalcopryrite. Ce stade développe une importante concentration en or qui peut être libre dans le quartz ou en association avec les sulfures (stade 2).
- Développement des rubans de quartz QIII, QIV et l'abondance de carbonates (stades 3 et 4).
- Une activité supergène très importante qui affecte les quartz aurifères d'Iourirne (stade 5).
- L'étude métallographique des grains d'or a permis d'affirmer que l'or se trouve à l'état libre, principalement dans des microfissures observées optiquement dans les différentes phases sulfurées du minerai ;
- L'étude des inclusions fluides montre la présence de : (1) fluides hypersalés représentés par des inclusions triphasées de type S dans les zones de surcroissances des quartz automorphes ; (2) fluides aqueux de type L, montrant une association intime avec la paragenèse à or - sulfures, il semble être à l'origine du dépôt de la minéralisation aurifère d'Iourirne ; (3) Dans le quartz des failles plates, les fluides sont essentiellement de type carboné (types C1 et C2) ;
- Le modèle proposé pour la mise en place de la minéralisation aurifère d'Iourirne est celui des valves sismiques, dans lequel la minéralisation serait contrôlée par un certain nombre de paramètre (contrainte tectonique, pression lithostatique, pression hydrostatique, composition chimique des fluides, fugacité d'oxygène...) dont il faut faire la part d'influence de chacun de ces paramètres sur l'expression de la minéralisation aurifère.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs remerciements aux relecteurs pour les remarques qui ont contribué à l'amélioration de ce manuscrit. Nos vifs remerciements vont également à Mr. Michel Dubois Professeur à l'université Lille I. Nous tenons à remercier également la société minière Akka Gold Mining (AGM) pour l'aide qu'elle leur apportée lors des travaux de recherche dans la mine d'Iourirne surtout à monsieur Zouhair Mohamed, et Monsieur Madi, ex chef du service de géologie et tous les cadres et

le personnel de la mine, je citerai Benyass Maamar, Abdelmalek Ouadjou, Mohamed Outhounjit, Laabarta Khalid, Lahssen Rakhiss...

RÉFÉRENCES

- [1] L. THIEBAUT, J. CHOUBERT, D. MATVEIEFF, et P. RAMPONT, « Rapport sur les opérations de prospection d'or dans l'Anti-Atlas ». Arch. Serv. Mines. Maroc (1939).
- [2] A. KORCHI, « Etude géophysique des filons aurifères d'Inlioua ». Rapport inédit BRPM, Rabat. Maroc (1988).
- [3] A. AITKASSI, « Note préliminaire sur certains indices aurifères dans la boutonnière d'Akka ». Rapport inédit BRPM, Rabat, Maroc (1989).
- [4] M. ZOUHAIR, « Les paléocirculations fluides dans la Tagragra d'Akka (Anti-Atlas; Maroc). Etude combinée des inclusions fluides et de la déformation des quartz aurifères, conséquences pour la métallogénie de l'or ». Thèse 3ème cycle Inst. Nat. Poly-tech. Lorraine, France, (1992) p. 393.
- [5] B. BAROUDI, M. ANNICH, A. AITKASSI, M. ZOUHAIR, « La recherche de l'or au Maroc, cas du gîte d'Iourirne et revue des indices d'or ». Chronique de la recherche minière, n° 531-532, (1998) 93-107.
- [6] G. CHOUBERT, « Histoire géologique du précambrien de l'Anti-Atlas ». Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, n°162, (1963) p. 443.
- [7] A. MORTAJI, « La boutonnière précambrienne de Tagragra d'Akka Anti-Atlas occidental, Maroc pétrologie et géochimie des granitoïdes, filons basiques et métamorphique associées ». Thèse Univ. Nancy I, France, (1989) p. 211.
- [8] D. GASQUET, F. ROGER, F. CHLOT-PRAT, B. HASSENFORDER, T. BAUDIN, P. CHEVREMONTE, A. BENLAKHDIM, A. MORTAJI, M. BENSSAOU, « Carte géologique du Maroc au 1/50 000 feuille de Tamazrara ». Note et mémoire du service géologique N°415 bis (2001) p. 95.
- [9] A. MICHARD, Elément de la géologie marocaine. Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 252, (1976) p. 408.
- [10] M. IKENNE, « La boutonnière précambrienne du Bas Draa (Anti-Atlas occidental, Maroc) : Caractérisation pétrologique et géochimique des roches magmatiques et métamorphiques et leur relation avec la déformation ». Thèse Univ. Ibn Zohr, Agadir, Maroc, (1997) p. 285.
- [11] C. MARIGNAC, « Contribution à l'étude du potentiel aurifère des Tagragra d'Akka et de Tata ». Rapport inédit BRPM, Rabat, Maroc, (1990) p. 17.
- [12] M. BENBRAHIM, M. AISSA, B. MAAMAR, M. OUTHOUNJITE, M. ZOUHAIR, « Minéralisation aurifère d'Iourirne (Bouttonnière de Tagragra d'Akka Anti-Atlas occidental, Maroc) problématique de la variation des teneurs en métal ». 17ème Colloque des Bassins Sédimentaires Marocain Rabat, (2003a) 31.
- [13] M. BENBRAHIM, « Gisement aurifère d'Iourirne (Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc) : Caractérisation pétrographique, géochimique et paléocirculations fluides ». Thèse Univ. Moulay Ismaïl, Meknès, Maroc, (2005) p. 239.
- [14] M. BENBRAHIM, M. AISSA, B. MAAMAR, M. ZOUHAIR, « Relation déformation-minéralisation des quartz aurifères du gisement d'Iourirne (Bouttonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc) ». Troisième colloque international : Magmatisme, Métamorphisme et Minéralisations Associées, Casablanca, (2003b) 123.
- [15] M. BENBRAHIM, M. AISSA, M. MAHDOUDI, M. ZOUHAIR, « Etude métallogénique du gisement aurifère d'Iourirne (Bouttonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc) ». Colloque Terre et Eau, Algérie, Annaba, (2004a) 21-24.
- [16] M. BENBRAHIM, M. AISSA, M. DUBOIS, J.L. POTDEVIN, M. ZOUHAIR Apport de l'étude préliminaire des inclusions fluides du gisement d'Iourirne (Bouttonnière de Tagragra d'Akka Anti-Atlas occidental, Maroc). Colloque de Faure Muret, (2004b) 14.
- [17] R.J. BODNAR, « Revised equation and table for determining the freezing point
- [18] depression of H₂O-NaCl solutions ». Geochim. Cosmochim. Acta, 57, (1993) 683-684.
- [19] J.G. RAMSAY, « Shear zone geometry a review », journal of structural Geology, vol.2, (1980) 83-99.
- [20] R.H. SIBSON; J.MCM. MOOR & A.H. RANKIN, « Seismic pumping a hydrothermal fluid transport mechanism »: geol. Soc. London Jour., v. 131, (1975) 653-659.
- [21] S.F. COX; M.A. ETHERIDGE, & V.J. WALL, « The role of fluids in syntectonic mass transport and the localization of metamorphic vein-type ore deposits »: Ore Geology Reviews, v.2, (1986) 65-86.
- [22] R.H. SIBSON, F. ROBERT & K.H. POULSEN, « High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits-Geology », 16, (1988) 551-555.
- [23] R.H. SIBSON, « Brecciation processes in fault zones inference from earth quakerepturing ». Pure and applied geophysics 124, (1986) 159-175.

